



LAPORAN TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH VARIASI TEKANAN DAN
TEMPERATUR *WARM COMPACTION*
TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT Cu-
10%Sn DENGAN 0,7% *ZINC STEARATE*
SEBAGAI MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

ARIEF HANDI PUTRA
NRP. 2712100051

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**THE EFFECT OF PRESSURE AND WARM
COMPACTION TEMPERATURE TO
MECHANICAL PROPERTIES OF Cu-10%Sn
WITH 0,7% ZINC STEARATE AS FRANGIBLE
BULLET MATERIAL**

ARIEF HANDI PUTRA
NRP. 2712100051

Advisor

Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

Rindang Fajarin, S.Si, M.Si

DEPARTMENT OF MATERIALS AND
METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI TEKANAN DAN TEMPERATUR
WARM COMPACTION TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT Cu-10%Sn DENGAN
0,7% ZINC STEARATE SEBAGAI MATERIAL PELURU
FRANGIBLE.**

TUGAS AKHIR

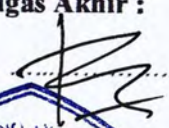
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


Arief Handi Putra
NRP. 2712100051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

 (Pembimbing I)

Rindang Fajarin, S.Si, M.Si

 (Pembimbing II)



**PENGARUH VARIASI TEKANAN DAN TEMPERATUR
WARM COMPACTION TERHADAP SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT Cu-10%Sn DENGAN 0,7% ZINC STEARATE
SEBAGAI MATERIAL PELURU FRANGIBLE.**

Nama	: Arief Handi Putra
NRP	: 2712 100 051
Jurusan	: Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing	: Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si

ABSTRAK

Peluru frangible adalah peluru latih yang didesain untuk hancur ketika mengenai benda keras. Peluru frangible banyak diproduksi menggunakan metode *cold compaction*. Penelitian ini mengembangkan *warm compaction* untuk mempersingkat waktu produksi dibanding metode *cold compaction*. Proses *warm compaction* telah dilakukan dengan variasi tekanan 300, 400, 500 dan 600 MPa serta variasi temperatur kompaksi 100°C dan 200°C. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa proses pembuatan komposit dengan metalurgi serbuk pada kedua temperatur menghasilkan nilai densitas yang tertinggi pada tekanan 600 MPa dengan nilai berturut – turut 8,26 g/cm³ dan 8,74 g/cm³. Dari hasil pengujian sifat mekanik didapatkan nilai kekerasan maksimum pada tekanan 600 MPa temperatur 200°C yaitu 100,88 HV dan kekuatan tekan didapatkan nilai maksimum 469,47 MPa pada tekanan 600 MPa temperatur 200°C. Hasil karakterisasi menggunakan XRD dan SEM menunjukkan bahwa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit Cu-10%Sn ini mampu menghasilkan senyawa Cu₃Sn dan Cu₆Sn₅.

Kata kunci: *frangible*, metalurgi serbuk, Cu-Sn, temperatur kompaksi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF PRESSURE AND WARM COMPACTION TEMPERATURE TO MECHANICAL PROPERTIES OF Cu-10%Sn WITH 0,7% ZINC STEARATE AS FRANGIBLE BULLET MATERIAL

Name : Arief Handi Putra
NRP : 2712100051
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si

Abstract

Frangible projectile is a projectile designed to shattered as stroke a hard target. Frangible projectile fabricated using cold compaction method. This study observe warm compaction method to reduce production time compared from cold compaction method. Synthesis of material Cu-10%Sn composite by warm compaction has been observed with the variation of pressure (300, 400, 500 and 600 MPa) and temperature (100 and 200 °C). Form the result of experiment we found that Both of the temperature produce the density value, with the highest at 600 MPa, there are 8,26 g/cm³ and 8,74 g/cm³. From the mechanical testing of the composite, the maximum hardness is 100,88 HV at 600 MPa, 200 °C, and the maximum compressive strength is 469,47 MPa at 600 MPa, 200 °C. From the characterization by XRD and SEM, show that the method which used in syntesis of Cu-10%Sn composite can produce Cu₃Sn dan Cu₆Sn₅ intermetallic compound.

Keywords : frangible, powder metallurgy, compaction temperature

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul

“Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Warm Compaction terhadap Sifat Mekanik Komposit Cu-10%Sn dengan 0,7% Zinc Stearat sebagai Material Peluru *Frangible*”

Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata'ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna.
- Orang tua tercinta, atas jasa-jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
- Ibu Widyastuti S.Si, M.Si sebagai dosen pembimbing yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang ibu berikan.
- Kepada Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Ibu Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing dan Bapak Ibu dosen penguji yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala masukan, pertanyaan dan pencerahan yang diberikan kepada saya..
- Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Mas Ridha Widhianto selaku staf Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

- Staf Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Staf Laboratorium Beton Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Teman-teman seperjuangan Laboratorium Fisika Material. Nanda, Mahar, Nur , Mei, Mas Diki, Mbak Nia, Lita, Bela, Mifta, Yoga dan lain-lain.
- dan juga kepada seluruh teman – teman seperjuanganku MT-14, terima kasih karena sudah menjadi teman – teman terbaik di jurusan ini.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua. Aamiin

Wassalamu’alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 25 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	hal
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	vii
Abstrac.....	x
Kata Pengantar	xii
Daftar Isi	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru <i>frangible</i>	5
2.2 Metalurgi serbuk.....	6
2.3 Pengadukan (<i>mixing</i>)	6
2.4 Pelumas	7
2.5 <i>Warm compaction</i>	10
2.6 Porositas	12
2.7 Komposit	12
2.8 Definisi dan Mekanisme Difusi	17
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan	21
3.2 Alat	23
3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.3.1 Preparasi Bahan	30
3.3.2 Proses Penelitian	30

3.3.3 Pengujian	31
-----------------------	----

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data.....	35
4.1.1 Proses Pembuatan Komposit Cu – 10% Sn dan 0,7% Zinc stearate.....	35
4.1.2 Hasil Analisa XRD	38
4.1.3 Hasil Analisa SEM	43
4.1.4 Hasil Perhitungan Densitas	53
4.1.5 Hasil Analisa Sifat Mekanik	56
4.2 Pembahasan.....	58

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Tipe <i>Mixing</i>	6
Gambar 2.2	Grafik Uji DTA <i>Zinc Stearate</i>	8
Gambar 2.3	Grafik Pengaruh Perubahan Ukuran Terhadap Tekanan Kompaksi Penambahan <i>Lubricant Zinc stearate</i> Pada Serbuk Besi.....	9
Gambar 2.4	Skema Kompaksi.....	10
Gambar 2.5	Pengaruh Tekanan terhadap Densitas Kompaksi	10
Gambar 2.6	Grafik Penurunan <i>Yield Strength</i> Serbuk Baja terhadap Temperatur	11
Gambar 2.7	Paduan Cu-Sn	15
Gambar 2.8	Fasa intermetalik serbuk kompaksi Cu-Sn.....	15
Gambar 2.9	Ilustrasi mekanisme difusi	17
Gambar 2.10	Hubungan antara temperatur kompaksi dan densitas green sebagai fungsi tekanan	19
Gambar 3.1	a) Serbuk tembaga (Cu) b) Wadah serbuk.....	21
Gambar 3.2	a) Serbuk timah (Sn) b) Wadah serbuk timah (Sn)	22
Gambar 3.3	a) Serbuk dan b) Wadah Serbuk <i>Zinc stearate</i>	22
Gambar 3.4	<i>Dies</i>	23
Gambar 3.5	<i>Hot plate stirrer</i> dan <i>magnetic stirrer</i>	24
Gambar 3.6	<i>Heat band</i>	24
Gambar 3.7	Alat Kompaksi	25
Gambar 3.8	Alat Uji Tekan	27
Gambar 3.9	Diagram Alir Pembuatan Sampel <i>pellet</i>	28
Gambar 3.10	Diagram Alir Pembuatan Sampel <i>pellet</i>	29
Gambar 4.1	Serbuk a) Tembaga (Cu), b) Timah (Sn), c) Zinc stearat dan d) Komposit Cu-10wt% Sn.....	35
Gambar 4.2	Hasil uji XRD a) Serbuk Tembaga dan b) Serbuk Timah.....	36
Gambar 4.3	Hasil Uji SEM a) Serbuk Tembaga dan b) Serbuk Timah.....	37

Gambar 4.4	Spesimen a) Temperatur 100°C Tekanan 300MPa, b) 100°C Tekanan 400MPa, c) Temperatur 100 °C Tekanan 500MPa, d) Temperatur 100 °C Tekanan 600MPa, e) Temperatur 200 °C Tekanan 300MPa, f) Temperatur 200 °C Tekanan 400MPa, g) Temperatur 200 °C Tekanan 500MPa, h) Temperatur 200 °C Tekanan 600MPa.....	38
Gambar 4.5	Hasil Analisa Puncak XRD Temperatur 100°C..	39
Gambar 4.6	Hasil Analisa Kuantitatif XRD Temperatur 100°C.....	40
Gambar 4.7	Hasil analisa puncak XRD temperatur 200°C. ..	41
Gambar 4.8	Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 200°C.....	42
Gambar 4.9	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 300x	44
Gambar 4.10	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 400 MPa Perbesaran 300x	44
Gambar 4.11	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 500 MPa Perbesaran 300x	45
Gambar 4.12	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 600 MPa perbesaran 1500x.....	45
Gambar 4.13	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 300x	47
Gambar 4.14	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 400 MPa Perbesaran 1500x.....	47
Gambar 4.15	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 500 MPa Perbesaran 1500x.....	48
Gambar 4.16	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 500 MPa Perbesaran 1500x.....	48
Gambar 4.17	Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 1500x.....	49
Gambar 4.18	Hasil EDX Fasa Senyawa Intermetallik Cu ₃ Sn..	50
Gambar 4.19	Hasil EDX Fasa Cu	51
Gambar 4.20	Hasil EDX Fasa Senyawa Intermetallik Cu ₆ Sn ₅	52

Gambar 4.21	Hubungan Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas Komposit Cu-10wt% Sn	54
Gambar 4.22	Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Cu-10wt% Sn Temperatur Kompaksi 100 °C	55
Gambar 4.23	Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Cu-10wt% Sn Temperatur Kompaksi 200 °C	55
Gambar 4.24	Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Kekerasan Komposit Cu-10wt% Sn	57
Gambar 4.25	Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Kuat Tekan Maksimum Komposit Cu-10wt% Sn.....	57

(helaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Peluru <i>Frangible</i>	5
Tabel 2.2 Pelumas Umum pada Metalurgi Serbuk	8
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Tembaga	13
Tabel 2.5 Sifat Sifat Fisik dan Mekanik Timah.....	14
Tabel 3.1 Skala Uji Kekerasan Rockwell.....	34

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar belakang

Peluru *frangible* merupakan peluru yang paling aman yang digunakan untuk latihan. Peluru *frangible* ini mempunyai kemampuan untuk pecah saat mengenai benda keras. Metode *cold compaction* banyak digunakan dalam produksi peluru *frangible*. Namun metode *cold compaction* membutuhkan waktu yang cukup lama dikarenakan memiliki beberapa tahap. Untuk mengurangi waktu produksi, dikembangkanlah metode *warm compaction* yang menggabungkan proses sintering dan kompaksi dalam satu waktu.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai topik *warm compaction*. Laurent (1998) melakukan penelitian *warm compaction* serbuk baja menggunakan variasi tekanan kompaksi 550 MPa, 690 MPa, dan 760 MPa dan variasi temperatur kompaksi mulai 20°C sampai dengan 140°C. Hasil terbaik didapatkan pada tekanan kompaksi 760 MPa dan temperatur kompaksi 130°C. Feng (2011) melakukan penelitian *warm compaction* menggunakan serbuk Cu-Re dengan variasi temperatur 100, 120, 140, dan 160°C dan variasi *zinc stearate* 0,4; 0,5; 0,6; 0,7wt%. Dari penelitian tersebut didapat densitas maksimum dengan variasi 0,7wt% *zinc stearate*, tekanan 650 MPa dan temperatur 120°C. Ngai (2005) meneliti pembuatan material Cu dengan menggunakan metode *warm compaction*. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi tekanan kompaksi 100 – 700 MPa dengan interval tekanan 100 MPa dan variasi temperatur kompaksi dari temperatur kamar sampai temperatur 200°C.

Dalam pembuatan peluru *frangible* digunakan material Cu-10wt%Sn. Untuk itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dalam penelitian ini metode *warm compaction* digunakan untuk memproduksi material Cu-10wt%Sn dengan variasi temperatur



kompaksi 100°C dan 200°C serta tekanan kompaksi 300, 400, 500, dan 600 MPa.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh tekanan *warm compaction* terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn 0,7% *zinc stearate*?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *warm compaction* terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn 0,7% *zinc stearate*?

I.3. Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laju kenaikan temperatur pemanasan dies dianggap tetap.
2. Distribusi campuran serbuk dianggap homogen.
3. Pengotor diabaikan.

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh tekanan *warm compaction* terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wt + Sn 0,7% *zinc stearate*.
2. Menganalisa pengaruh temperatur *warm compaction* terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wt Sn 0,7% *zinc stearate*

I.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan material alternatif pada pembuatan proyektil peluru *frangible* yang ramah lingkungan dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai referensi



untuk penelitian-penelitian selanjutnya guna mengembangkan kualitas proyektil peluru *frangible*. Sehingga dapat dijadikan inovasi dalam pembuatan produk persenjataan untuk mewujudkan kemandirian teknologi hankam nasional.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru *Frangible*

Peluru *frangible* merupakan peluru yang dibuat khusus agar hancur saat mengenai benda keras. Pecahan-pecahan peluru tersebut menurunkan massa peluru sehingga energi kinetik yang dihasilkan tidak cukup kuat untuk melukai penembak disekitarnya (Mates, 2006). Ketika peluru ditembakkan ke arah benda keras dengan kemiringan tertentu dapat berbelok dari arah sebelumnya sebagai dampak dari benturan dengan objek lain. Peluru berbelok seperti ini dinamakan *ricochet*. Peluru yang memantul akibat *ricochet* memantul dengan cara yang berbeda-beda meskipun menggunakan peluru yang sama. Dikarenakan arah pantulan tidak beraturan, sehingga proyektil juga berpotensi untuk mengalami *backsplash* atau memantul ke arah penembak (Jauhari, 1970).

Peluru *frangible* dapat mencapai sifat tersebut karena disusun dari material partikel logam dan material pengikat yang rapuh. Pengikat disarankan memiliki paling tidak satu lapisan senyawa intermetalik dengan partikel logam untuk membentuk ikatan rapuh antara pengikat dan partikel logam (Benini, 1998).

Untuk mencapai sifat *frangible* maka material peluru perlu memenuhi syarat sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Karakteristik Peluru *Frangible* (Hansen, 2008)
(Kruachatturat, dkk, 2009)

No	Karakteristik	Nilai
1	Massa Jenis	- 1,75g/cc – 8,25 g/cc 7,1 g/cc – 8,5g/cc (uji tembak)
2	Kekuatan Tekan	31 Mpa – 310 Mpa
3	Kekerasan Permukaan	54 HV - 119 HV

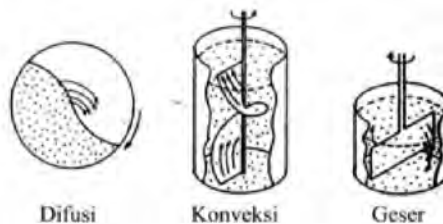


2.2 Metalurgi Serbuk

Proses metalurgi serbuk adalah proses manufaktur *near-net* atau *net-shape* yang mengkombinasikan fitur-fitur teknologi *Shape-making* untuk kompaksi serbuk dengan menggunakan sifat dan desain akhir material (sifat fisik dan mekanik) selama proses densifikasi dan konsolidasi (ASM Metal handbook, 1998). Sebelum kompaksi serbuk logam disiapkan dahulu melalui proses pra-kompaksi. *Mixing* dan *blending* adalah dua metode pra-kompaksi yang paling umum. Serbuk dicampur untuk mencapai distribusi ukuran partikel yang merata. Serbuk juga bisa dibentuk dalam bentuk campuran antara dua serbuk yang berbeda. Kombinasi serbuk kasar dengan halus akan membuat kompaksi menjadi lebih mudah namun tetap mempunyai porositas rendah sehingga mempersingkat waktu sintering. *Mixing* dua macam serbuk logam berbeda dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik yang diinginkan. Proses metalurgi serbuk biasanya akan menimbulkan porositas, hal tersebut berpengaruh pada berat jenisnya (Ibrahim, 2009)

2.3 Pengadukan (*Mixing*)

Mixing merupakan faktor penting dari tahap pra-kompaksi. Variabel yang mempengaruhi proses kompaksi termasuk material, ukuran partikel, tipe *mixer*, ukuran *mixer*, volume relatif serbuk logam dengan *mixer*, kecepatan *mixing* dan waktu *mixing* (German, 1986). Mekanisme dari *mixing* terdiri dari difusi, konveksi dan Geser. Tiga tipe *mixing* tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Ilustrasi Tipe *Mixing* (German, 1986)



Proses *mixing* serbuk bergantung pada aliran partikel melewati satu sama lainnya. Tingginya gesekan antar partikel akan mempersulit proses *mixing*. Gesekan partikel bertambah jika ukuran partikel makin kecil. Semakin tinggi koefisien gesek material dan bentuk partikel yang tidak beraturan. Pada proses *mixing* yang dilakukan pada pencampur silinder efisiensinya dipengaruhi oleh kecepatan *mixing* dan karakteristik material. Jika terlalu cepat putaran *mixing* maka akan menghambat gerakan partikel karena adanya gaya *centrifugal* dan bila terlalu lambat gerakan partikel yang lambat akan menghambat proses. Untuk memperoleh putaran optimum *mixing* dalam tabung silinder dapat diperkirakan dengan rumus persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$N_o = \frac{32}{d^{1/2}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana N_o = Kecepatan putaran *mixing* (rpm)
 d = diameter *mixer* (m)

2.4 Pelumas

Masalah utama dalam kompaksi serbuk adalah gesekan dinding *dies* dengan serbuk. Gesekan ini mengakibatkan berkurangnya tekanan menuju bagian dasar serbuk logam (German, 1984). Untuk mengurangi efek dari gesekan tersebut maka dibutuhkan pelumas. Dengan adanya pelumas, gaya tekan yang terbuang akibat gesekan semakin berkurang sehingga meningkatkan densitas (Feng, 2011). Pelumas umumnya ditambahkan untuk mengurangi gesekan pada *dies*, mengurangi tekanan ejeksi, menaikkan kompaktibilitas dan menghilangkan *crack*. Serbuk pelumas ini biasanya terdiri dari serbuk *stearate* berbasis Al, Zn, Li, Mg, atau Ca. ukuran pelumas yang biasanya dipakai rata-rata 30 μm . Pemakaian pelumas ini disarankan tidak boleh lebih dari 2%. Pelumas ini umumnya memiliki titik leleh yang rendah sehingga dengan mudah meningkatkan kemudahan dalam melakukan kompaksi serbuk pada temperatur rendah. Sifat – Sifat dari beberapa pelumas metalurgi serbuk seperti ditampilkan pada Tabel 2.3 (German, 1984)

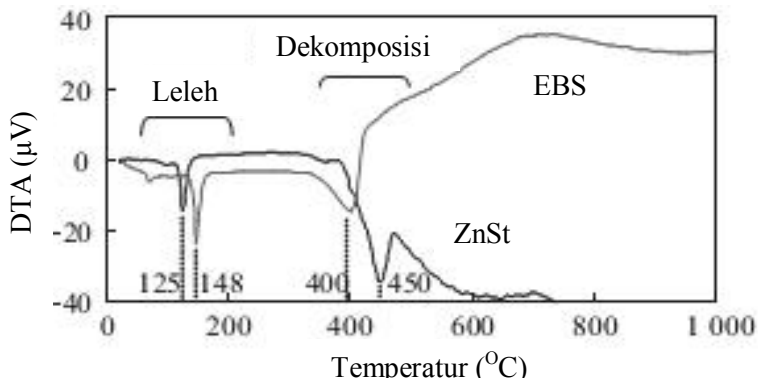


Pelumas ada berbagai macam jenisnya seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Pelumas Umum pada Metalurgi Serbuk (German, 1986)

Bahan	Temperatur lebur (°C)	Densitas (g/cm ³)
<i>Zinc stearate</i>	130	1,09
Kalsium stearat	160	1,03
Lithium stearate	220	1,01

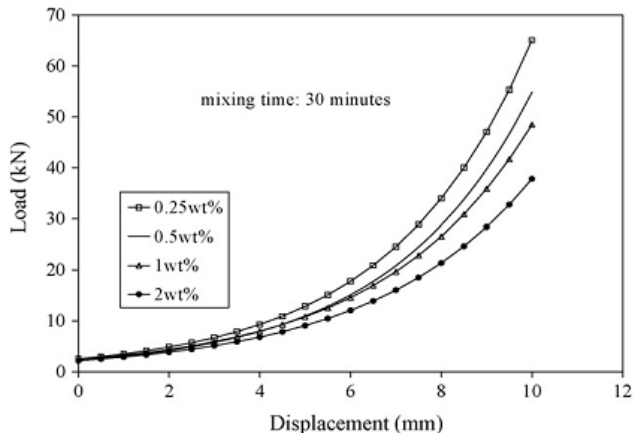
Metode pelumasan dibagi menjadi dua yaitu pelumasan dinding *dies* dan pelumasan serbuk. Pelumas biasanya dicampurkan dalam serbuk sebelum akhirnya dikompaksi. Pada penelitian Takashi (2011) dijelaskan bahwa temperatur *melting point Zinc stearate* adalah 125 °C seperti yang dapat dilihat pada analisis uji DTA (Differential Thermal Analysis) pada Gambar 2.2. Dari analisis uji DTA itu pula diketahui bahwa *Zinc stearate* mengalami dekomposisi pada temperatur 400°C sampai 450°C. Sintesis *Zinc stearate* sendiri menggunakan metode presipitasi yang melewati dua tahap. Tahap pertama adalah netralisasi asam stearat dengan sodium hidroksida kemudian dekomposisi dengan *zinc sulphate* untuk mendapatkan *Zinc stearate* (Helaly, 2010).



Gambar 2. 2 Grafik Uji DTA *Zinc Stearate* (Takashi, 2011)



Pada penelitian Ariffin (2007) pengerjaan dengan metode metalurgi serbuk yang diberi penambahan pelumas, mempunyai kemampuan mengurangi beban yang dibutuhkan untuk mendapatkan perubahan ukuran yang diinginkan. Fenomena pengurangan gaya tekan yang dibutuhkan terhadap ukuran *green material* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Grafik Pengaruh Perubahan Ukuran Terhadap Tekanan Kompaksi Penambahan *Lubricant Zinc stearate* Pada Serbuk Besi (Ariffin, 2007)

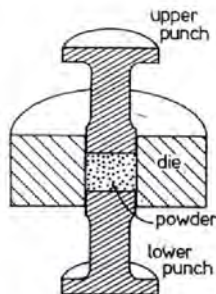
2.5 Warm compaction

Warm compaction adalah metode kompaksi yang menggabungkan proses sintering dan kompaksi dalam satu waktu. Metode ini memanfaatkan fenomena kompaksi yang memberikan tekanan dari luar untuk mendeformasikan serbuk logam menjadi padat dan ditambahkan dengan penambahan energi kalor untuk mempercepat pemadatan, serta memberikan bentuk dan dimensi pada logam serbuk. Temperatur dalam *warm compaction* didefinisikan berdasarkan kemampuan dari bahan pelumas yang dipakai. Kebanyakan pelumas serbuk yang dipakai pada metalurgi serbuk bekerja maksimal pada temperatur 90°C –

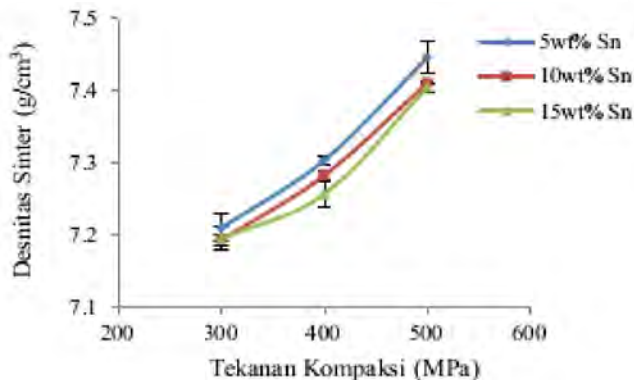


135°C dan mulai terdegradasi pada temperatur 150°C (Hoganas, 2004). Akibat adanya degradasi ini maka fungsi dari pelumas sebagai material yang mengurangi friksi antar partikel maupun friksi antara partikel dan dinding cetakan akan hilang. Sehingga *warm compaction* menggunakan temperatur dengan rentang 100°C - 150°C.

Dalam *warm compaction* tekanan eksternal dibutuhkan untuk membentuk serbuk logam dan menaikkan densitas. Pengaruh penambahan nilai tekanan kompaksi juga berpengaruh pada porositas, yang semakin tinggi tekanan maka porositas akan semakin berkurang (Vicko, 2014), Skema kompaksi ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Skema Kompaksi (German, 1984).

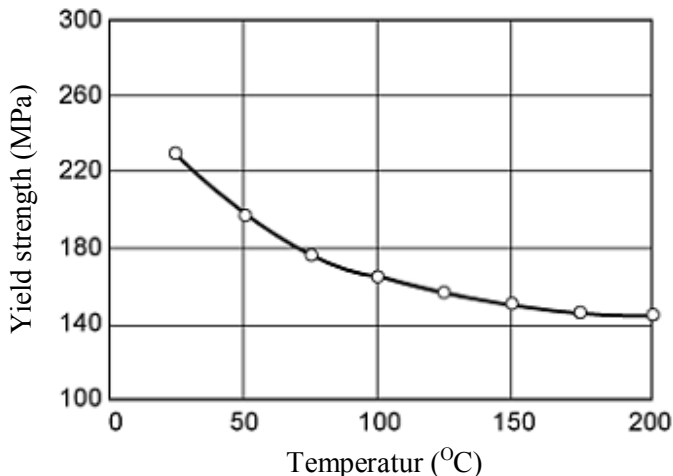


Gambar 2. 5 Pengaruh Tekanan terhadap Densitas Kompaksi (Vicko, 2014).



Penekanan menyebabkan pergeseran serbuk awal sehingga akan membentuk partikel untuk menjadi lebih padat. Serbuk logam berdeformasi bersamaan ketika tekanan meningkat dan akhirnya partikel mengalami deformasi plastik.

Proses *warm compaction* mampu memberikan keuntungan dibandingkan dengan metode tradisional. Karena teknologi tradisional untuk mendapatkan densitas yang tinggi diperlukan *double-pressing/double sintering* yang memakan biaya tambahan yang tinggi. *Warm compaction* adalah proses metalurgi yang mampu mencapai densitas dan sifat mekanik dari proses *double sintering/double pressing* dalam satu kali proses penekanan. Penelitian menunjukkan dengan pemanasan pada material meningkatkan kemampuan *compressibility* dibandingkan serbuk logam yang tidak dipanaskan. Penelitian Hogan AB menunjukkan *compressive yield* berkurang 30% ketika serbuk dipanaskan pada 150°C seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.6 (ASM Handbook Volume 7).



Gambar 2.6 Grafik Penurunan *Yield Strength* Serbuk Baja terhadap Temperatur (ASM Handbook Volume 7)



2.6 Porositas

Pori (rongga) merupakan rongga udara atau sela dari dalam material dimana berbentuk lebih dalam daripada luasannya. Porositas adalah rasio dari total volume pori (V_p) terhadap *apparent volume* dari partikel atau serbuk. Porositas merupakan fraksi dari material yang total volumenya merupakan ruang kosong. Porositas terbuka dan porositas tertutup memiliki sedikit perbedaan. Hanya porositas terbuka yang memiliki kemampuan untuk melewatkan udara atau cairan melalui benda tersebut dan porositas terbuka memiliki kemampuan untuk menyaring partikel yang melewati benda tersebut. Sementara porositas tertutup cenderung lebih kecil dan terisolasi. Jumlah total dari porositas sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari benda berpori. Akan tetapi porositas terbuka adalah konsentrasi utama dalam penentuan umur aus dari *self lubricating bearing* (German, 1986)

Porositas dan densitas mempunyai hubungan yang berbanding terbalik. Semakin kecil porositas komposit maka semakin besar densitas yang terjadi pada komposit. Ketika komposit mencapai *full density*, maka komposit tersebut tidak mempunyai porositas lagi (Fany, 2015). Beberapa faktor yang mempengaruhi densitas dan porositas dari suatu komposit. Diantaranya adalah partikel size, temperatur pemanasan, dan pelumas. Kontribusi pelumas terhadap porositas terjadi karena adanya gas hasil penguapan pelumas yang terperangkap didalam material ketika dipanaskan. Sehingga gas yang terperangkap tersebut akan membentuk lubang-lubang yang tidak terisi oleh material dan menjadi porositas (Ibrahim, 2009).

2.7 Komposit

Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu dan membentuk ikatan mekanik yang berstruktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik (Sulistijono, 2012). Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dapat



diklasifikasikan ke dalam 3 jenis yaitu: *polymer matrix composite*, *ceramic matrix composite*, dan *metal matrix composite*. *Metal matrix composite* lebih tahan pada temperatur tinggi, kekuatan yang lebih baik, tahan regangan, tahan *fatigue*, rasio kekuatan dengan berat yang lebih baik dan kemampuan signifikan konduksi elektronik dan panas dibanding material *polymer matrix composite*.

Tembaga (Cu) merupakan salah satu kelompok utama logam yang komersial. Tembaga memiliki warna kemerahan dengan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Tembaga merupakan logam yang lunak, memiliki sifat mampu tempa yang baik, ulet, dan konduktor yang sangat baik dengan warnanya kekuningan. Material tembaga banyak digunakan karena konduktivitas listrik dan *thermal* yang sangat baik, ketahanan korosi yang sangat baik, kemudahan fabrikasi dan memiliki kekuatan serta ketahanan terhadap *fatigue* yang baik berpotensi untuk digunakan sebagai *matrix* pada *metal matrix composite* (ASM *Metals Handbook Vol 2*). dapat digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu (Nadkarni, 2003). Sifat mekanik tembaga secara rinci dijelaskan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Tembaga (Habashi, 1997)

<i>Properties</i>	Tembaga	Timah
Massa Atom	63.54 g/mol	118.71 g/mol
<i>Melting point</i>	1083 ^o C	231.93 ^o C
Densitas	8.95 g/cm ³	7.3 g/cm ³
Modulus elastisitas	100-120 GPa	120-130 GPa
Poisson ratio	0,35	0,35
Kekuatan Tarik	200-250 MPa	300-360 MPa
Kekuatan Luluh	40-120 MPa	250-320 MPa
Brinell <i>hardness</i>	40-50 HB	80-110 HB

Timah (Sn) merupakan logam yang lunak, ulet, berwarna putih keperakan. Timah merupakan logam allotropik dengan 2 bentuk perubahan fasa yaitu timah- α dan timah- β . Fasa struktur

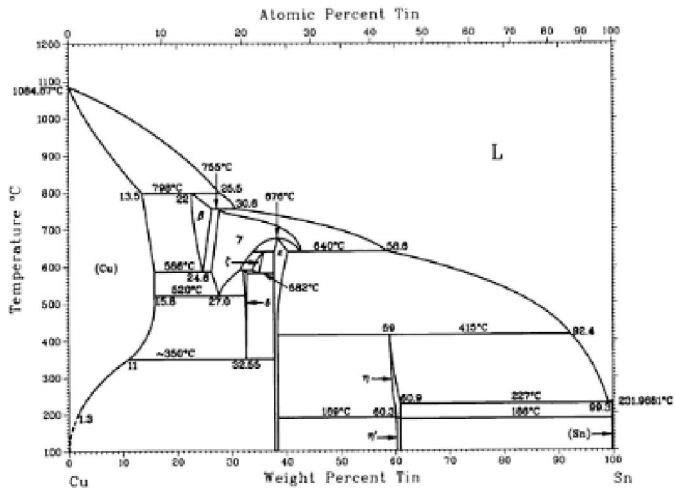


kristal timah - α adalah FCC (*Face Centered Cubic*) dan timah - β adalah *tetragonal*. Transformasi modifikasi kristalin α dan β dibarengi dengan perubahan struktur *lattice*. Sifat mekanik timah diperinci pada Tabel 2.4

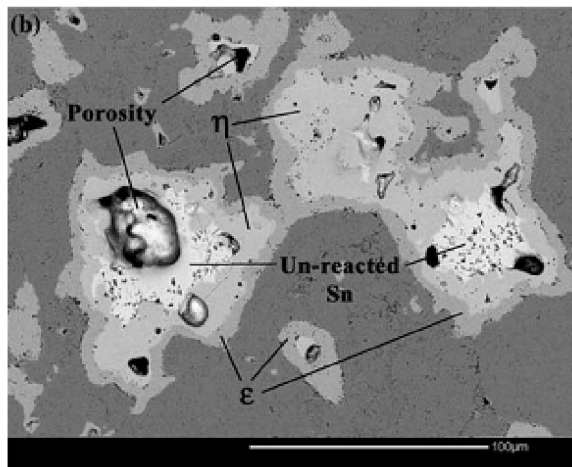
Tabel 2.4. Sifat Fisik dan Mekanik Timah (*ASM Volume 2*)

Sifat	Keterangan
Nomor Atom	50
Massa Atom	118.69 g/mol
<i>Melting point</i>	232 °C
Densitas	7.3g/cm ³
<i>Hardness</i>	3,9 HB
<i>Yield strength</i>	11 MPa
Modulus young	50 GPa
<i>Impact strength</i>	44.1 J
Poisson rasio	0,33

Komposit Cu-Sn dapat membentuk suatu fasa baru yang berbeda dengan unsur Cu dan Sn. Fasa tersebut dinamakan fasa Intermetalik. Pada komposisi tertentu komposit ini menghasilkan intermetalik dengan rumus senyawa yang berbeda-beda. Senyawa tersebut merupakan senyawa intermetalik. Senyawa intermetalik terjadi pada komposisi tertentu pada paduan Cu-Sn cara mengidentifikasinya salah satunya melalui SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Penelitian yang dilakukan oleh Banovic menunjukkan dengan penggunaan komposit Cu-10wt%Sn yang diproses pada temperatur 260°C didapatkan fasa intermetallik Cu₆Sn₅ dan Cu₃Sn. Terlihat dari Gambar 2.9 terdapat unsur Sn berwarna putih terang, fasa intermetalik Cu₆Sn₅ dengan warna abu-abu muda, fasa Cu₃Sn yang berwarna abu-abu lebih gelap, dan unsur Cu dengan warna paling gelap. Pembentukan ini bisa diprediksi menggunakan diagram fasa Cu-Sn seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Paduan Cu-Sn (*ASM Handbook Volume 3*)



Gambar 2.8 Fasa Intermetalik Serbuk Kompaksi Cu-Sn (Banovic, 2008)



Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture (ROM)* yang dinyatakan dengan persamaan 2.2.

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- ρ_c = densitas komposit (g/cm^3)
- ρ_m = densitas matriks (g/cm^3)
- ρ_f = densitas penguat (g/cm^3)
- V_m = fraksi volume matriks
- V_f = fraksi volume *filler*

Dengan densitas dinyatakan dalam persamaan 2.3.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- ρ = densitas (g/cm^3)
- m = massa (g)
- v = volume (cm^3)

Dengan menggunakan rumus densitas pada persamaan 2.2 maka akan diperoleh fraksi massa dengan persamaan 2.4.

Dengan perumusan berikut :

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- m_m = massa matrik
- m_f = massa *filler*
- m_c = massa komposit
- a = fraksi massa matrik
- b = fraksi massa *filler*

Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *filler* dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \dots\dots\dots(2.5)$$



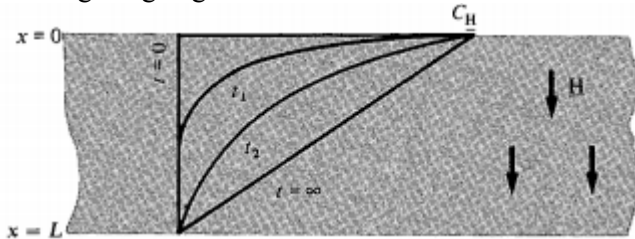
- Massa *filler*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana : v_c = volume komposit

2.8 Definisi dan Mekanisme Difusi

Difusi adalah perpindahan zat dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah. Secara umum percepatan difusi sebanding dengan gradien konsentrasi.



Gambar 2.9 Ilustrasi mekanisme difusi (Geiger, 1973)

Dijelaskan pada hukum fick's yang diilustrasikan pada Gambar 2.9, mencontohkan plat baja kontak langsung dengan gas hidrogen pada tekanan yang sama dimana pada keadaan equilibrium konsentrasi hidrogen larut pada baja adalah tetap dan merata diseluruh plat. Pada keadaan $t = 0$ bagian atas plat mengalami tekanan gas hidrogen yang lebih tinggi sehingga baja memperoleh konsentrasi hidrogen pada permukaannya. Hidrogen berdifusi di dalam padatan hingga keadaan stabil $x = 0$ tercapai pada batas kandungan massa hidrogen didalam baja untuk mempertahankan perbedaan konsentrasi diseluruh bagian plat.

Difusi pada material padat terdapat mekanisme *self diffusion* yang terjadi tanpa pengaruh energi dan kimia dari luar. Pada logam murni atom tidak tetap pada satu tempat namun berpindah-pindah. Apabila dilihat dari atom itu sendiri, atom bergetar disekitar daerah *lattice* kristal. Pada logam mekanisme difusi terbagi menjadi 3 cara, yaitu mekanisme *vacancy*, mekanisme *ring* dan mekanisme *interstitial*. Mekanisme *vacancy*

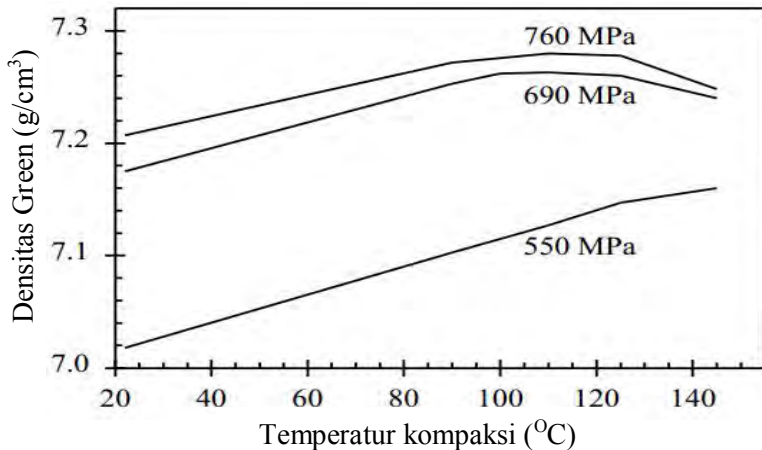


terjadi dimana atom yang terdekat pada daerah *vacancy* berpindah ke daerah *vacancy*. Terjadinya mekanisme ini memerlukan distorsi pada struktur kristal yang membutuhkan energi. Namun kebutuhan energi tersebut tidak menjadi penghalang. Mekanisme *Ring* terjadi pada tiga atom yang berpindah secara berotasi metode ini dianggap lebih masuk akal karena rendahnya *strain energy* yang dibutuhkan dibanding dua atom yang berpindah, namun bukti langsung tentang mekanisme ini tidak banyak. Mekanisme *interstitial* terjadi akibat penambahan konsentrasi terlarut pada daerah *interstitial* pelarut. Atom terlarut mendorong atom pelarut untuk keluar dari posisi kristal normalnya hingga ke daerah *interstitial*. Gerakan akan terus terjadi pada atom berikutnya akibat atom *interstitial* lebih besar mendorong atom berikutnya dalam reaksi berantai (Geiger, 1973).

2.9 Penelitian Sebelumnya

Laurent (1998) melakukan penelitian *warm compaction* serbuk baja dengan menggunakan variasi tekanan 550 MPa, 690 MPa, dan 760 MPa. Pada penelitian ini juga digunakan variasi temperatur kompaksi mulai 20°C sampai dengan 140°C. terlihat pada Gambar 2.10 bahwa terdapat kenaikan green density yang cukup signifikan saat tekanan kompaksi ditingkatkan. Temperatur kompaksi juga mempengaruhi densitas green dari material yang dikompaksi.

Ngai (2005) melakukan penelitian *warm compaction* serbuk Cu murni yang ditambahkan pelumas *Zinc stearate* sebanyak 0,6 %. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan temperatur pada serbuk tembaga saat melakukan kompaksi. Serbuk Cu diberikan tekanan kompaksi sebesar 100 – 700 MPa dengan interval tekanan 100 MPa. Namun serbuk terlebih dahulu diberikan pemanasan dari temperatur kamar hingga 200°C. densitas hijau yang didapatkan naik seiring dengan penambahan tekanan kompaksi. Nilai densitas hijau maksimum didapatkan pada tekanan 700 MPa dan temperatur kompaksi 135°C yaitu sebesar 8,44 g/cm³



Gambar 2. 10 Hubungan antara temperatur kompaksi dan densitas green sebagai fungsi tekanan (Laurent, 1998)

Feng (2012) pada penelitiannya menggunakan tiga variabel yaitu tekanan, kadar *Zinc stearate* dan temperatur. Tekanan yang digunakan adalah 350, 450, 550 dan 650 MPa. Untuk temperatur menggunakan 100, 120, 140 dan 160 °C sedangkan untuk kadar *Zinc stearate* menggunakan 0,4; 0,5; 0,6 dan 0,7 wt% dengan metode *warm compaction*. Pada penelitian ini diketahui bahwa densitas meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, maka dalam penelitian ini digunakanlah metode *warm compaction* dengan menggunakan variasi temperatur kompaksi dan variasi tekanan kompaksi. Penggunaan variasi ini dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas material yang lebih baik.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

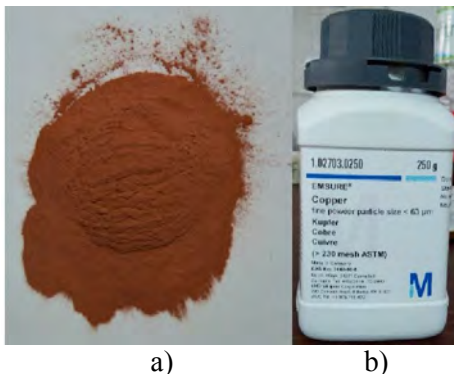
3.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai *matrix* dan serbuk Sn sebagai *filler*.

1. Serbuk Cu

Serbuk Cu pada Gambar 3.1 dengan kemurnian 99% produk Merck dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm ³
Temperatur <i>melting</i>	: 1083°C
Ukuran serbuk	: < 63 µm

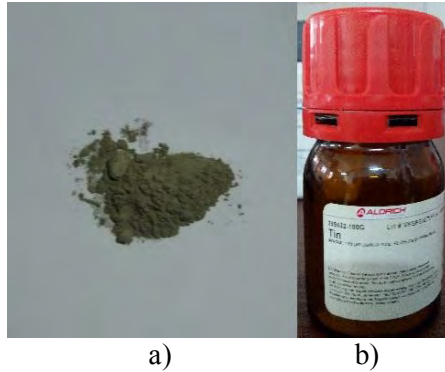


Gambar 3.1 a) Serbuk tembaga (Cu) b) Wadah serbuk

2. Serbuk Sn

Serbuk Sn pada Gambar 3.2 dengan kemurnian 99,8% produk Sigma Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 118,71 g/mol
Densitas	: 7,3 g/cm ³
Temperatur <i>melting</i>	: 232°C
Ukuran serbuk	: <45 µm

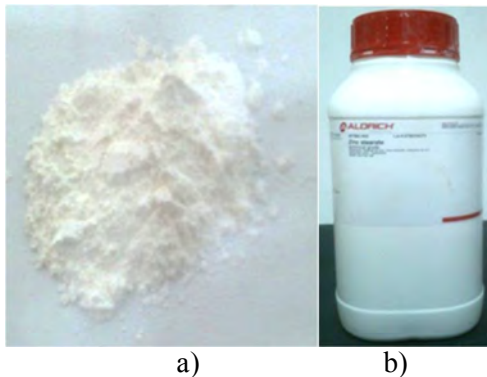


Gambar 3.2 a) Serbuk timah (Sn) b) Wadah serbuk timah (Sn)

3. Pelumas

Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding *dies* cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah *Zinc Stearate* pada Gambar 3.3 produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:

Densitas : $1,09 \text{ g/cm}^3$
Temperatur *melting* : 130°C



Gambar 3.3 a) Serbuk dan b) Wadah Serbuk *Zinc stearate*



4. Pelarut Polar

Pelarut polar yang digunakan yaitu ethanol karena mudah menguap sehingga mempermudah dalam proses pengeringan serbuk.

3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Spatula*
Spatula ditunjukkan digunakan untuk mengambil serbuk Cu dan Sn.
2. *Beaker glass*
Beaker glass yang digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk.
3. Masker dan sarung tangan
Masker dan sarung tangan digunakan sebagai alat pelindung diri dan untuk mengantisipasi terjadinya kontaminasi serbuk.
4. *Dies*
Dies ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai cetakan untuk menghasilkan bentuk *pellet* saat proses kompaksi.



Gambar 3.4 Dies

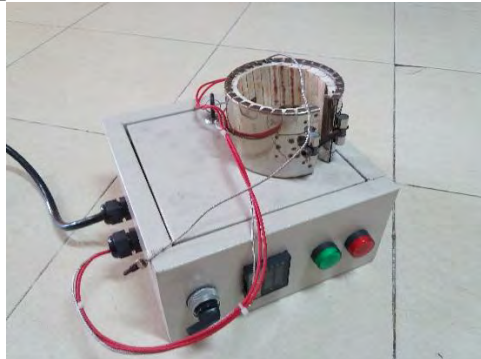
5. *Hot plate stirrer* dan *magnetic stirrer*
Hot plate stirrer dan *magnetic stirrer* ditunjukkan pada Gambar 3.5 digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.



Gambar 3.5 *Hot plate stirrer dan magnetic stirrer*

6. *Heat band*

Heat band ditunjukkan pada Gambar 3.6 merupakan alat pemanas yang digunakan untuk memanaskan *dies* melalui konduksi panas.



Gambar 3.6 *Heat band*

7. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi dari *pellet* komposit Cu-Sn setelah dikompaksi.

8. Neraca digital

Neraca digital merk Metler Toledo digunakan untuk menimbang massa serbuk Cu dan Sn serta sampel.



9. Alat kompaksi

Alat kompaksi ditunjukkan pada Gambar 3.7 menggunakan tekanan 300 MPa, 400 MPa, 500 MPa dan 600 MPa. Alat ini digunakan untuk mengkompaksi serbuk Cu dan Sn yang telah dicampur



Gambar 3.7 Alat kompaksi

10. Alat uji kekerasan (Rockwell F)

Digunakan untuk mengetahui kekerasan dari sampel komposit Cu-Sn setelah dibuat dengan proses metalurgi serbuk. Melalui nilai kekerasan rockwell F dengan satuan HRF

11. XRD (*X-Ray Diffractometer*)

X-Ray Diffractometer Adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari sudut material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa struktur material dan mengetahui fasa yang terbentuk selama proses pembentukan sample uji. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur



kristal adalah mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembentukan sampel uji. Tahap pengujian XRD yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Sampel diletakan pada *holder* agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka spesimen harus memiliki permukaan yang rata dengan *Holder*
- 2) *Holder* diletakkan pada mesin XRD
- 3) Data yang ditampilkan layar komputer berupa grafik dengan puncak pada sudut tertentu.

Kemudian dari data grafik tersebut dilakukan analisa kualitatif dengan mencocokkan puncak kurva dari data struktur XRD dengan data JCPDF.

12. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy berfungsi untuk mengetahui struktur mikro sehingga tingkat homogenitas sampel dan daerah *interface* dapat diketahui. Pengamatan dengan SEM memiliki resolusi yang tinggi dari perbesaran 10 sampai 100.000 kali dan kedalaman hingga 3 – 100 nm . Mekanisme pengambilan data pada SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah dengan *electron gun* yang memproduksi *electron beam* ,anoda menangkap *electro beam* yang diarahkan ke sampel kemudian lensa magnetik akan memfokuskan beam dan menembakkan ke sampel. *Scanner* membaca struktur permukaan sampel yang selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor. Tahap yang akan dilakukan pada pengujian SEM adalah sebagai berikut :

- 1) Sampel diletakan pada *holder* ,dimana *holder* telah ditempel dengan *tape*
- 2) Spesimen kemudian diletakan didalam *chamber* dengan kondisi vakum. Kemudian beam siap dinyalakan



13. Alat uji tekan (*Universal Testing Machine*)

Alat ini *Universal Testing Machine* (merk Shimadzu UH-500kNI) pada Gambar 3.8 digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel komposit Cu -Sn setelah dibuat dengan proses metalurgi serbuk.

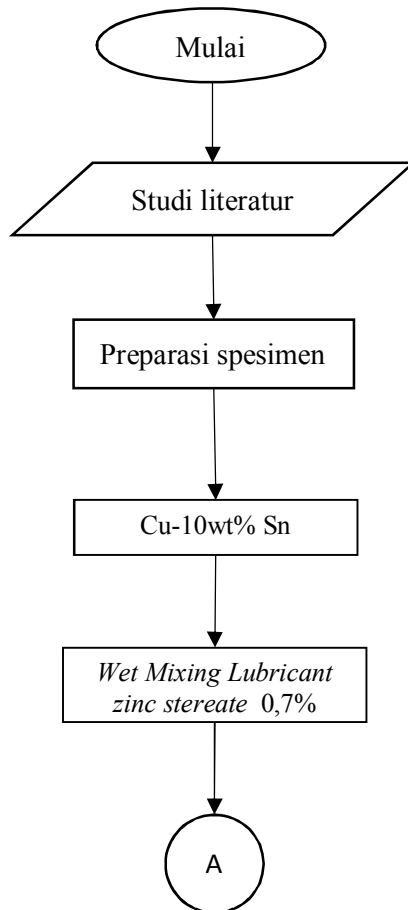


Gambar 3.8 Alat Uji Tekan

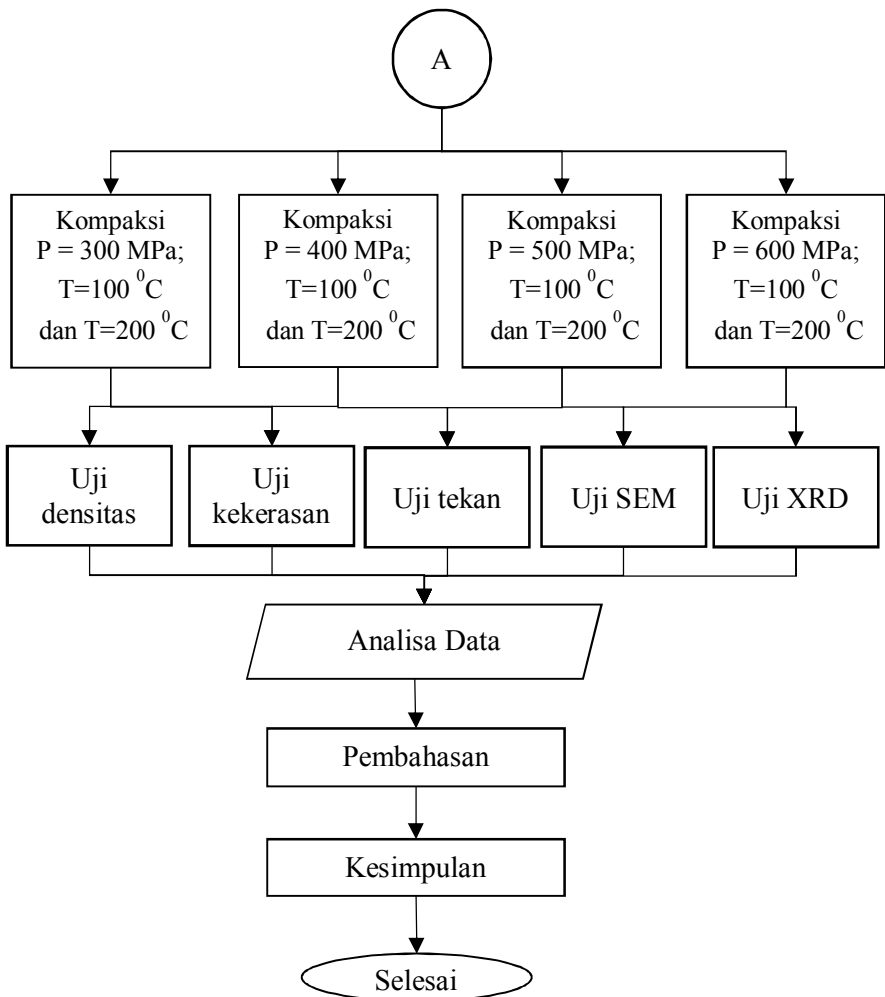
Modulus elastisitas didapatkan melalui kurva tegangan regangan di daerah elastis yang ditunjukkan oleh sifat mekanik.



3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Pembuatan Sampel *pellet*



Gambar 3.10 Diagram alir pembuatan sampel *pellet*



3.3.1 Preparasi Bahan

Sebelum melakukan proses penelitian maka hal yang harus dilakukan adalah preparasi bahan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penimbangan serbuk berdasarkan persentase berat yang telah ditentukan. Penentuan massa serbuk menggunakan persamaan 2.6 dan 2.7. Komposisi yang digunakan yaitu Cu-10%wtSn ($m_m = 6,8078$ gr; $m_f = 0,78564$ gr)
2. Pencampuran serbuk Cu-Sn menggunakan metode *wet mixing*, yaitu dilakukan dengan cara memasukkan serbuk kedalam *beaker glass* yang ditambahkan *Zinc Stearate* sebanyak 0.7% dari berat Cu-Sn yang ditambahkan ethanol sebanyak 10 tetes dan ditutup dengan aluminium foil kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm, temperatur 90°C selama 30 menit untuk setiap sampel.

3.3.2 Proses Penelitian

Proses penelitian adalah sebagai berikut.

1. Memasukkan serbuk yang telah dicampur dengan metode *wet mixing* ke dalam *dies*.
2. Melakukan kompaksi dengan tekanan 300 MPa, 400 MPa, 500 MPa dan 600 MPa dan masing masing di panaskan pada temperatur 100 °C dan 200 °C
3. Menimbang massa sampel peluru hasil kompaksi menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
4. Mengukur tinggi sampel *pellet* menggunakan jangka sorong.
5. Menimbang massa sampel *pellet* menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
6. Mengukur tinggi sampel *pellet* menggunakan jangka sorong.



3.3.3 Pengujian

1. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dilakukan dengan teknik Archimedes.

$$V = \frac{W}{D} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

- V = Volume Sampel (cm³)
- W = Berat Sampel didalam air (gram)
- D = Densitas air (gram/cm³)

$$D_E = \frac{W_D}{V} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

- D_E = Densitas Sampel (gram/cm³)
- W_D = Berat sampel kering (gram)
- V = Volume sampel (cm³)

$$P = \frac{D_t - D_p}{D_t} \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana:

- P = Porositas (%)
- D_t = Densitas teori (gram/cm³)
- D_p = Densitas percobaan (gram/cm³)

(Effendi.2008)

2. Pengujian tekan (*compression test*)

Pengujian tekan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat uji mekanik, pengujian tekan atau *compression test* memiliki berbagai kelebihan diantaranya yaitu spesimen yang digunakan lebih sederhana tidak memerlukan ulir atau penampang panjang spesimen untuk *gripping* seperti spesimen pada uji tarik. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban untuk penekanan pada sampel hingga terjadinya *fracture* pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik tegangan dan regangan material yang di uji. Berdasarkan grafik tersebut dapat



didapatkan sifat mekanik meliputi kekuatan tekan dan modulus elastisitas.

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak permukaan rata
2. Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.
3. Meletakkan sampel pada *punch* dengan posisi *punch* atas hampir menyentuh sampel
4. Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan menaikkan tingkat pembebanan selama waktu tertentu.
5. Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel
6. Menghentikan pengujian ketika sampel telah *fracture*

3. Pengujian kekerasan dengan Metode Rockwell

Pada metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan.

Tabel 3.1 Skala Uji Kekerasan Rockwell (ASM Handbook volume 8)

Skala	Beban utama (Kgf)	Indenter	Aplikasi
A	60	<i>Brale</i>	<i>Cemented carbide, thin steel</i>
B	100	1/16" bola	Paduan tembaga, <i>Soft steel</i>
C	150	<i>Brale</i>	Baja, <i>Hard cast iron</i>
D	100	<i>Brale</i>	<i>Thin steel</i>
E	60	1/16" bola	Besi tuang, Aluminium
F	150	1/16" bola	<i>Malleable cast iron, Phospor bronze</i>



Pada Tabel 3.1 dapat diketahui beberapa skala dengan jenis indentor dan besar beban utama. Untuk logam biasanya dengan skala B dan skala C dan angka kekerasannya dinyatakan dalam Rb dan Rc. Sedangkan untuk pengujian material Cu-10%Sn menggunakan skala F dengan indentor 1/16" bola dan beban utama 150 kg.

Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Meratakan sampel uji spesimen yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan *grade* 180, 240, 600, 800, 1000 dan 1500.
2. Sampel diletakan pada *holder* khusus untuk menjepit spesimen uji *hardness* dengan ukuran kecil
3. Pada mesin uji dipilih jenis indentor yang akan digunakan untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi.
4. Jejak indentasi diukur dengan cara menggerakan garis pengukur yang dilihat menggunakan mikroskop *hardness*. Menghentikan pengujian ketika sampel telah berdeformasi plastis.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

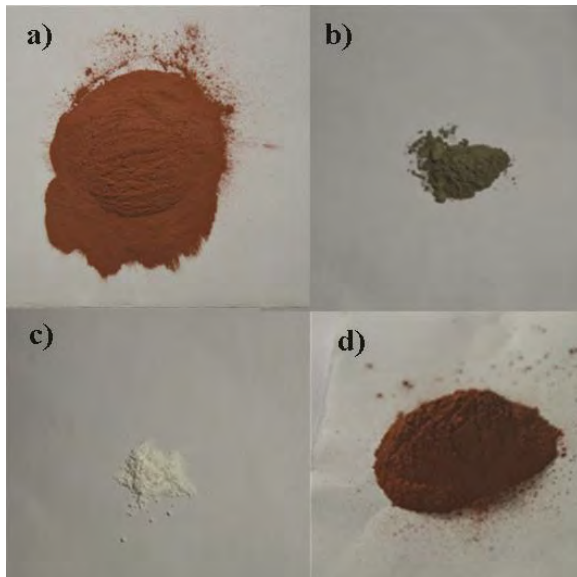
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1. Proses Pembuatan Komposit Cu - 10% Sn dan 0,7% *Zinc stearate*

Pada penelitian kali ini, komposit Cu – 10% Sn 0,7% *zinc stearate* dibuat dengan teknologi metalurgi serbuk. Dibutuhkan masing-masing serbuk tembaga sebesar 6,8078 gr, timah sebesar 0,7564 gr dan *zinc stearate* sebesar 0.0529 gr. Sebelum proses pembuatan komposit, dilakukan karakterisasi pada serbuk tembaga dan timah menggunakan pengujian XRD dan SEM. Pengujian XRD pada serbuk tembaga dan timah berpedoman pada ICCD dengan kode 01-071-3761 dan ICCD dengan kode 01-077-3457.

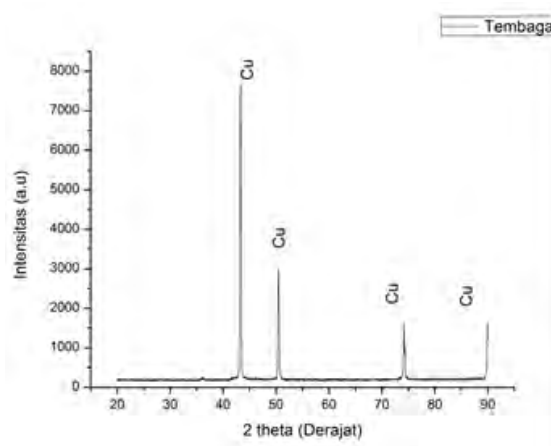


Gambar 4.1 Serbuk a) Tembaga (Cu), b) Timah (Sn), c) Zinc stearat dan d) Campuran Cu-10wt% Sn

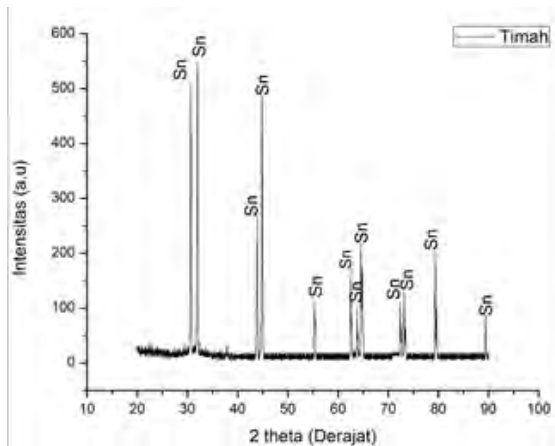


Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil uji XRD, dimana pada serbuk tembaga dan serbuk timah tidak terdapat pengotor.

a)



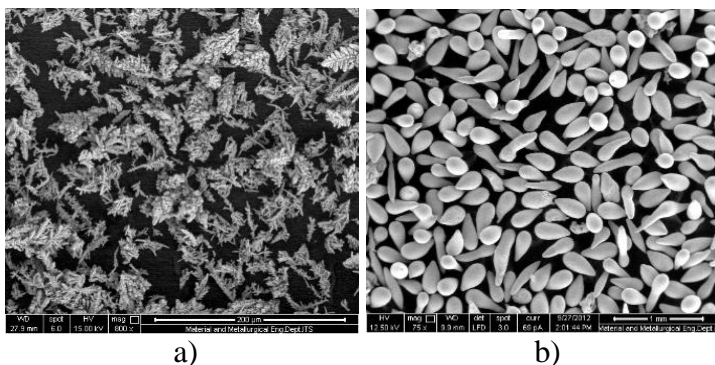
b)



Gambar 4.2 Hasil uji XRD a) Serbuk Tembaga dan b) Serbuk Timah.



Sedangkan pada uji SEM menunjukkan bahwa serbuk tembaga mempunyai bentuk morfologi *dendritic* (Gambar 4.3a), pada umumnya serbuk tembaga dengan morfologi berbentuk *dendritic* tersebut diperoleh dari proses *precipitation liquid*. Pada (Gambar 4.3b) menunjukkan hasil uji SEM dari serbuk timah, dimana serbuk timah mempunyai bentuk morfologi tetesan air mata (tear drop), biasanya serbuk timah dengan morfologi demikian diperoleh melalui metode atomisasi sentrifugal.

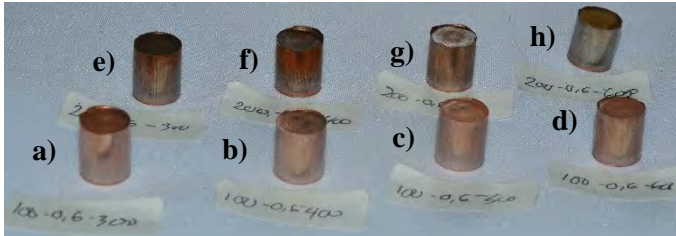


Gambar 4.3 Hasil Uji SEM a) Serbuk Tembaga dan b) Serbuk Timah.

Selanjutnya tembaga yang berwarna kecoklatan dan serbuk timah yang berwarna keabu-abuan dimixing dengan metode *wet mixing* dan dilakukan penambahan *zinc stearate* yang berwarna putih terang sebanyak 0,7 wt% dari berat total. Serbuk yang dihasilkan dari proses *wet mixing* tersebut berwarna coklat tua. Selanjutnya, serbuk yang dihasilkan dikompaksi dengan metode *warm compaction* dengan variabel temperatur 100°C dan 200°C pada tekanan 300, 400, 500 dan 600 MPa. Hasil *warm compaction* dapat dilihat pada Gambar 4.4, dimana terdapat perbedaan warna pada spesimen dengan temperatur kompaksi 100° dan 200°C. Pada hasil *warm compaction* terdapat cekungan pada bagian atas yang merupakan kontak langsung spesimen



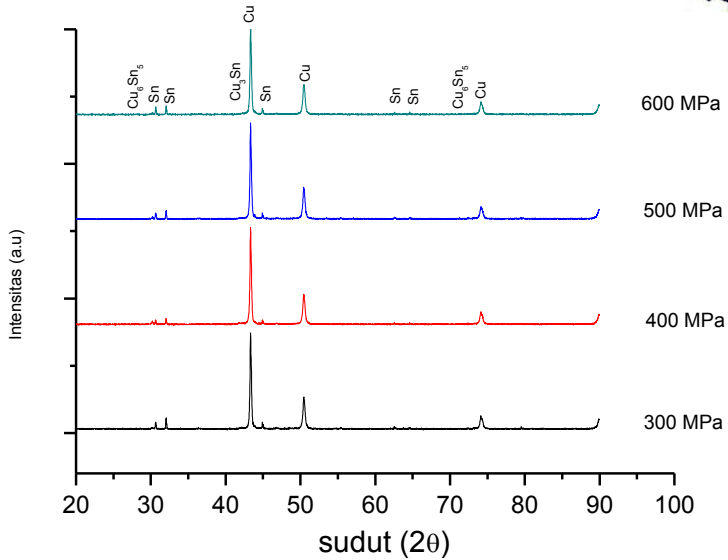
dengan *punch* yang disebut juga dengan “*tail*”. *Tail* terbentuk akibat adanya celah antara *dies* dengan *punch* selama proses kompaksi. Untuk mempermudah pelepasan sampel dari cetakan, sebelum proses kompaksi, cetakan terlebih dahulu dilapisi dengan *zinc stearate*. Pada penelitian kali ini dibuat sampel sebanyak 24.



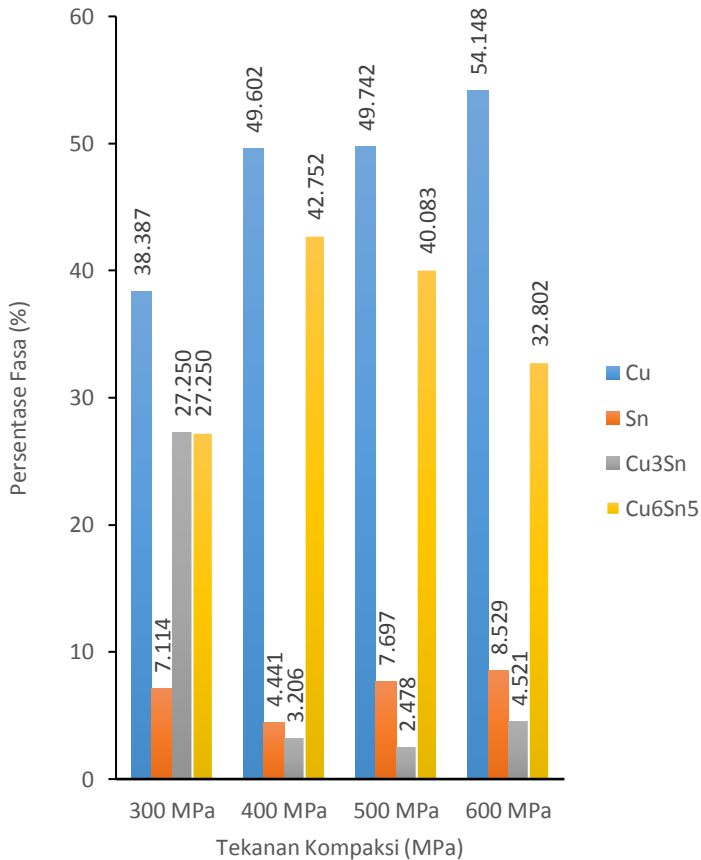
Gambar 4.4 Spesimen a) Temperatur 100°C Tekanan 300MPa, b) 100°C Tekanan 400MPa, c) Temperatur 100 °C Tekanan 500MPa, d) Temperatur 100 °C Tekanan 600MPa, e) Temperatur 200 °C Tekanan 300MPa, f) Temperatur 200 °C Tekanan 400MPa, g) Temperatur 200 °C Tekanan 500MPa, h) Temperatur 200 °C Tekanan 600MPa.

4.1.2. Hasil Analisa XRD

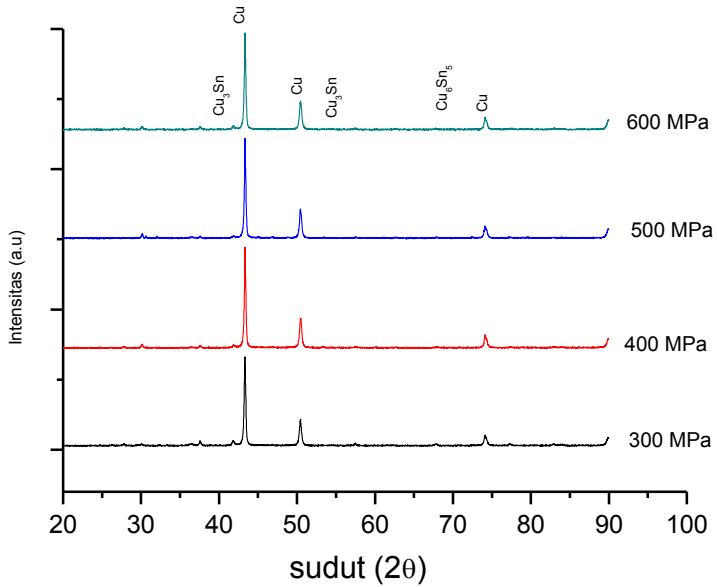
Pengujian XRD dilakukan untuk spesimen hasil kompaksi. Untuk mengetahui perbedaan komposisi dan fasa yang terbentuk akibat penggunaan variabel tekanan dan temperatur dalam proses pembuatan komposit Cu-10wt% Sn sebagai bahan peluru *frangible*. Pengujian XRD dilakukan dengan rentang sudut $20^\circ - 90^\circ$ dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar $1,54056 \text{ \AA}$. Hasil pengujian XRD dan analisis kuantitatif pada temperatur kompaksi 100°C ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Sedangkan pada temperatur kompaksi 200°C ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8



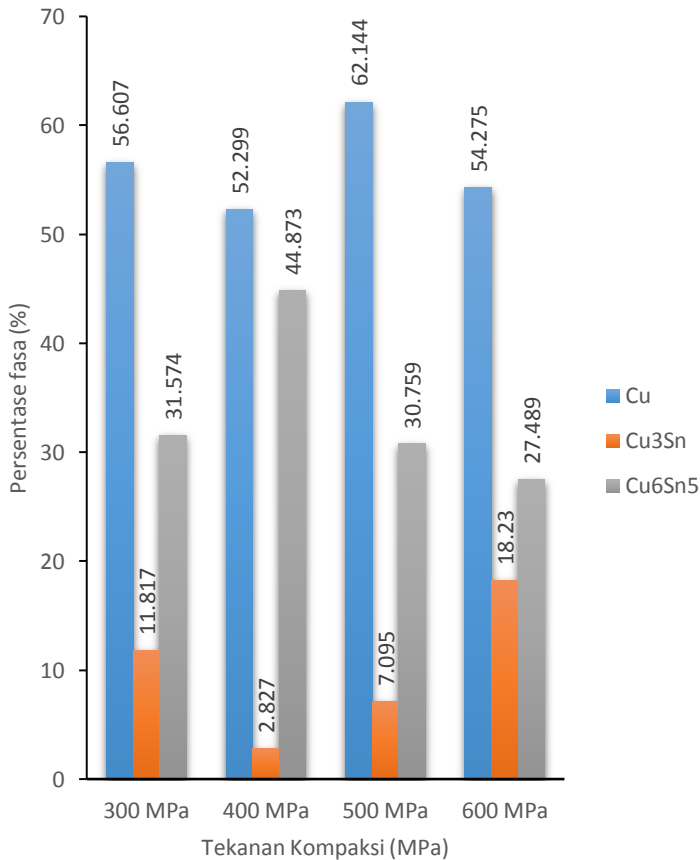
Gambar 4.5 Hasil Analisa Puncak XRD Temperatur 100°C.



Gambar 4.6 Hasil analisa kuantitatif XRD temperatur 100°C



Gambar 4.7 Hasil analisa puncak XRD temperatur 200°C.



Gambar 4.8 Hasil analisa kuantitatif XRD sampel temperatur 200°C

Gambar 4.7 merupakan grafik hasil XRD pada temperatur kompaksi 200°C. Pada gambar tersebut terlihat terdapat beberapa senyawa terbentuk. Namun terdapat perbedaan jika dibanding dengan temperatur kompaksi 100°C, dimana unsur Sn tidak terbentuk. Dari hasil pengujian XRD dapat diidentifikasi bahwa

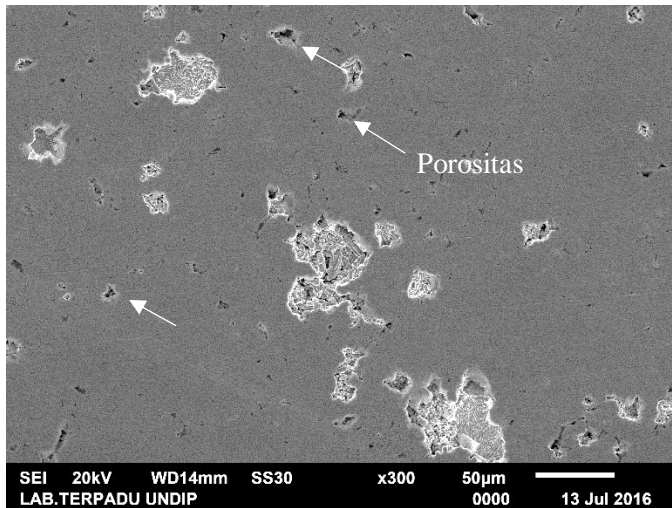


unsur Cu mempunyai peak tertinggi dari senyawa lain. Dimana karakterisasi unsur Cu diidentifikasi dengan menggunakan ICDD 01-085-1326 muncul pada rentang 2θ $43.3042^\circ - 43.3123^\circ$ dan muncul peak kecil pada rentang 2θ $74.114^\circ - 74.123^\circ$. Selain itu terdapat pula Cu (α -brass) dengan nomor ICDD 00-004-0836 pada rentang $50.418^\circ - 50.428^\circ$. Sementara pada senyawa Cu_6Sn_5 (01-072-8761) muncul pada rentang 2θ $30,146^\circ - 30.190^\circ$. Sedangkan pada fasa Intermetallik Cu_3Sn (01-071-7871) terletak pada rentang 2θ $37.560^\circ - 37.566^\circ$ dan terdapat peak tinggi disamping peak Cu pada rentang 2θ $43.4173^\circ - 43.4253^\circ$.

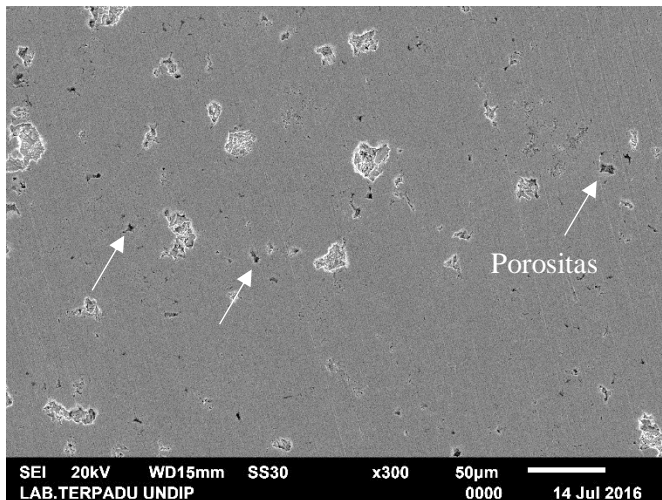
Pada hasil analisa puncak XRD dan analisa kuantitatif tidak ditemukan adanya fasa Sn pada temperatur kompaksi 200°C dikarenakan temperatur operasi sudah mendekati temperatur melting dari Sn. Hal tersebut menimbulkan munculnya fasa intermetallik yang lebih banyak sehingga Sn yang hilang telah berganti menjadi fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn .

4.1.3. Hasil Analisa SEM

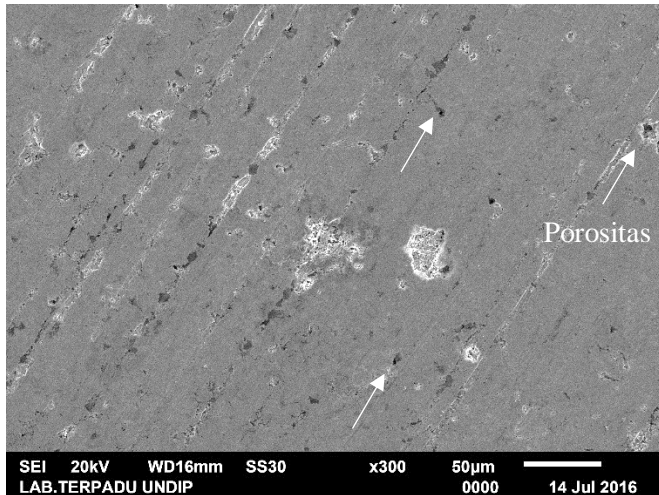
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dari spesimen hasil kompaksi. Untuk mengetahui secara lebih detail morfologi fasa yang terbentuk pada spesimen hasil kompaksi maka detektor yang digunakan adalah *Secondary electron*. Karena kemampuan dari detektor ini yang mampu memberikan gambar permukaan fasa dengan resolusi tinggi dan sensitif terhadap bentuk permukaan.



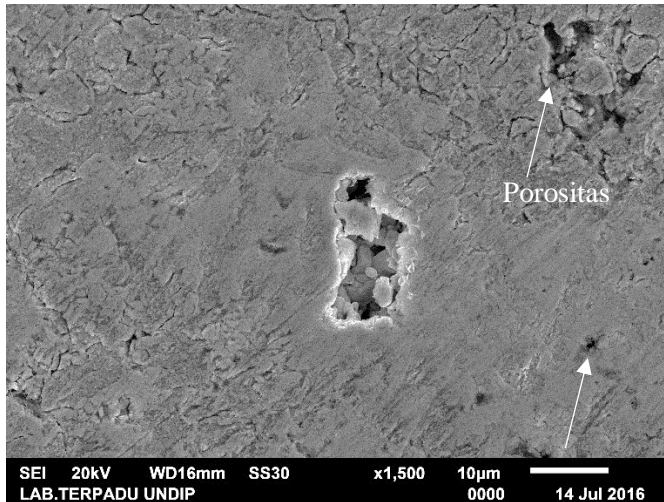
Gambar 4.9 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 300x



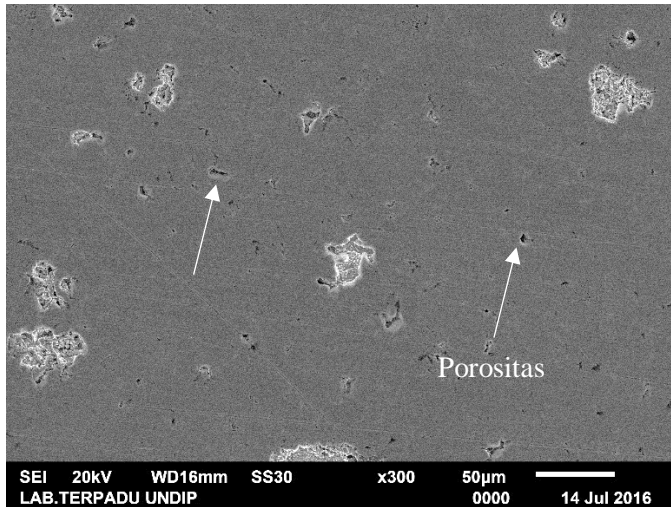
Gambar 4.10 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 400 MPa Perbesaran 300x



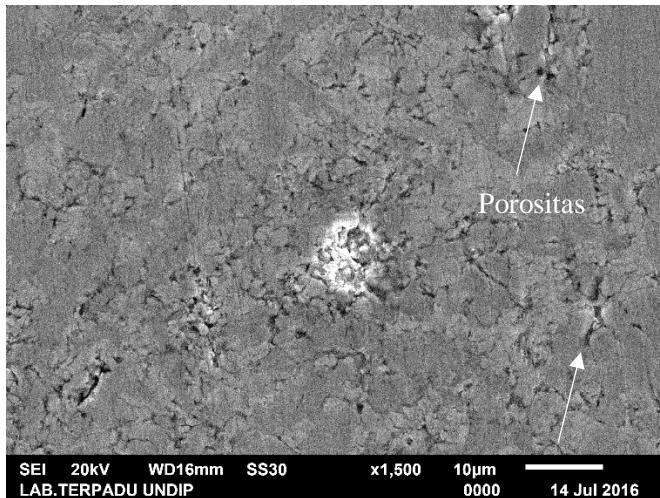
Gambar 4.11 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 500 MPa Perbesaran 300x



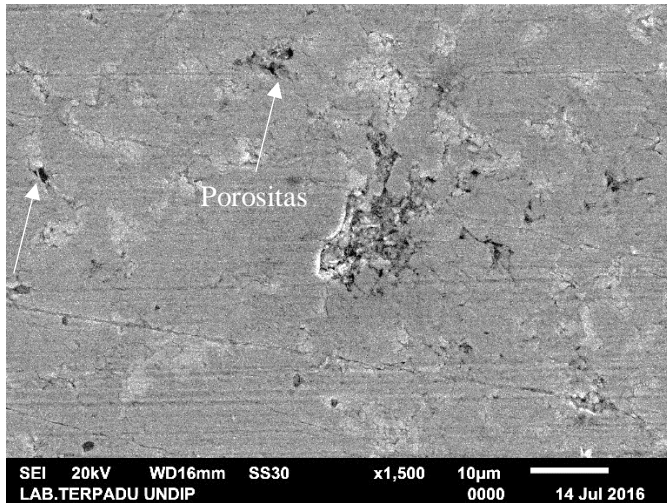
Gambar 4.12 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 600 MPa perbesaran 1500x



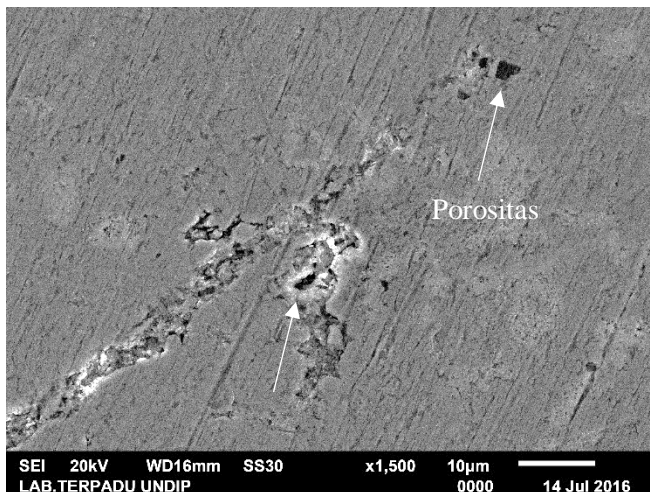
Gambar 4.13 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 300x



Gambar 4.14 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 400 MPa Perbesaran 1500x



Gambar 4.15 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 500 MPa Perbesaran 1500x



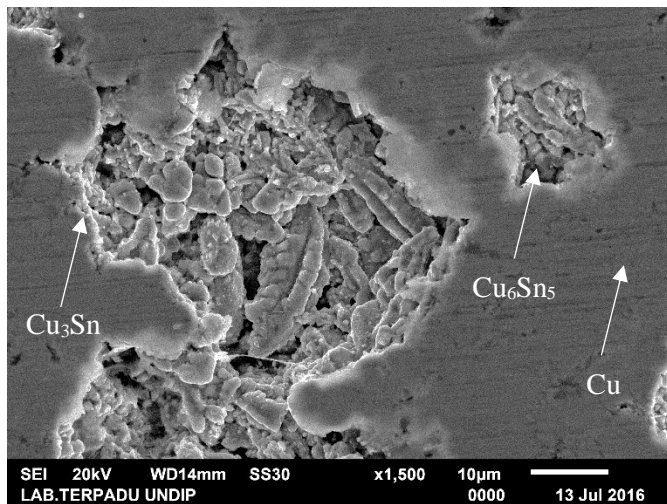
Gambar 4.16 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 200°C Tekanan 600 MPa Perbesaran 1500x



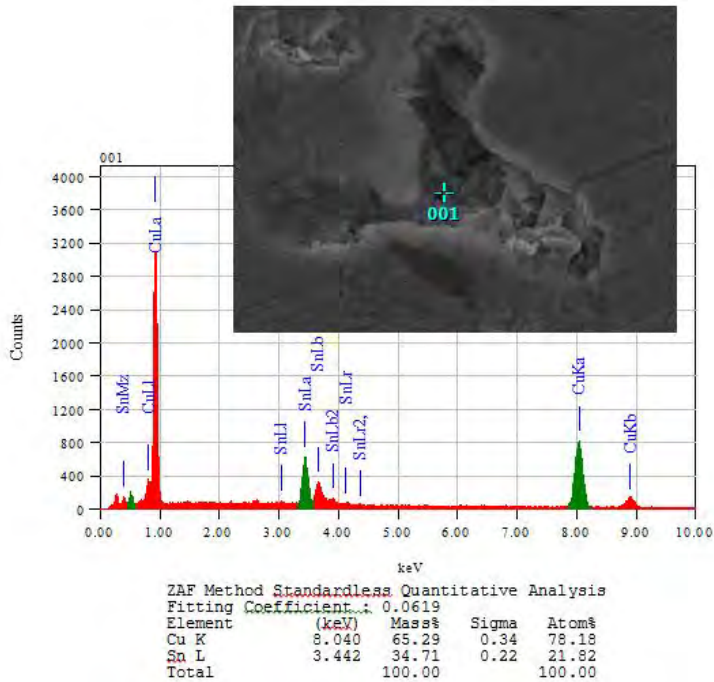
Dari Gambar 4.9 sampai Gambar 4.12 dapat diamati porositas yang muncul berwarna hitam pekat berkurang seiring meningkatnya tekanan kompaksi, penurunan jumlah porositas tersebut akan di ikuti dengan kenaikan densitas. Pada gambar SEM sampel perbesaran 300x dengan temperatur 100°C dengan tekanan 300 MPa terlihat bahwa porositas lebih besar dibandingkan dengan tekanan 400 MPa demikian juga terjadi pada tekanan 500 MPa dan 600 MPa. Bahkan untuk sampel tekanan 600 MPa diperlukan pengamatan SEM dengan perbesaran 1500x agar dapat melihat porositas yang terbentuk. Ini menandakan selain porositas berkurang ukurannya juga ikut mengecil. Ruangan porositas tersebut berkurang dan diisi oleh material serbuk yang terdeformasi, semakin tinggi tekanan maka semakin terdeformasi material serbuk dan mengurangi ruang porositas. Pada gambar SEM sampel perbesaran 300x dengan temperatur 200°C ditunjukkan pada Gambar 4.13 dengan tekanan 300 MPa terlihat bahwa porositas lebih besar dibandingkan gambar SEM sampel perbesaran 1500x dengan tekanan 400 MPa dan pada tekanan 500 MPa dan 600 MPa porositas semakin sedikit ditunjukkan pada Gambar 4.14, Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Dari hasil pengamatan SEM tersebut juga terlihat daerah berwarna putih yang merupakan daerah yang mengandung Sn (Timah) terletak di daerah sekitar porositas. Selain pengaruh tekanan terdapat juga pengaruh temperatur dapat diamati dari perbedaan bentuk morfologi yang terbentuk. Dari analisa SEM fasa yang terbentuk di XRD bisa diamati morfologinya. Ditunjukkan pada Gambar 4.17 dari hasil pengamatan morfologi menggunakan SEM terlihat munculnya fasa Cu_6Sn_5 dengan bentuk bulat lonjong yang tumpul. Diperkuat dengan analisis EDX ditunjukkan pada Gambar 4.20. Selain itu pengamatan SEM terlihat munculnya fasa Cu_3Sn dengan bentuk butiran-butiran kecil. Diperkuat dengan analisis EDX ditunjukkan pada Gambar 4.18. Selain itu terdapat pula fasa Cu yang memiliki warna abu abu gelap yang diperkuat dengan analisis EDX ditunjukkan pada Gambar 4.19. Fasa Cu mendominasi disekeliling lubang dengan



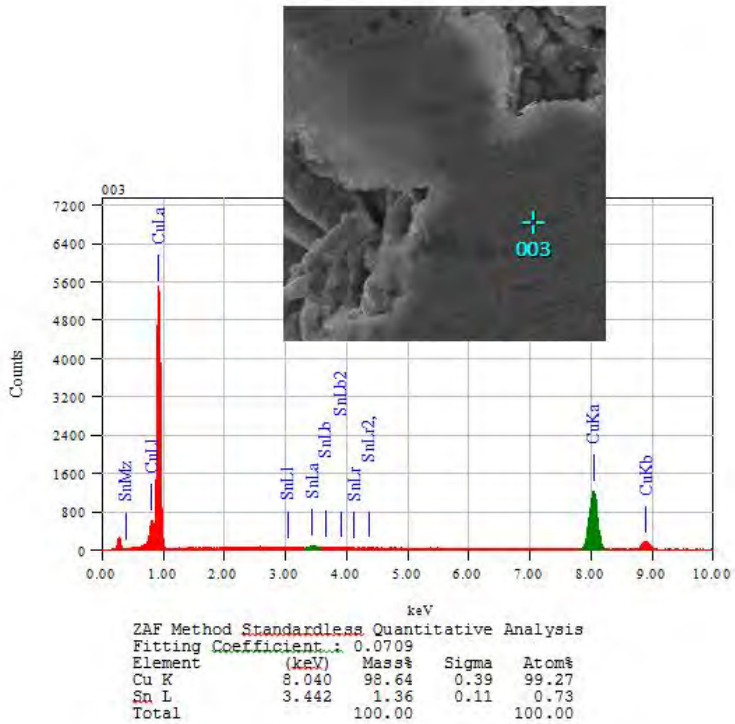
didalamnya fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn . Fasa Cu masih terlihat mengelilingi lubang dengan warna abu abu gelap. Bentuk fasa Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 terkonfirmasi dengan melihat penelitian yang dilakukan oleh Banovic (2007) fasa Cu_6Sn_5 memiliki bentuk *nodular* dan fasa Cu_3Sn memiliki bentuk *fine grain platelet* ditunjukkan pada Gambar 2.8



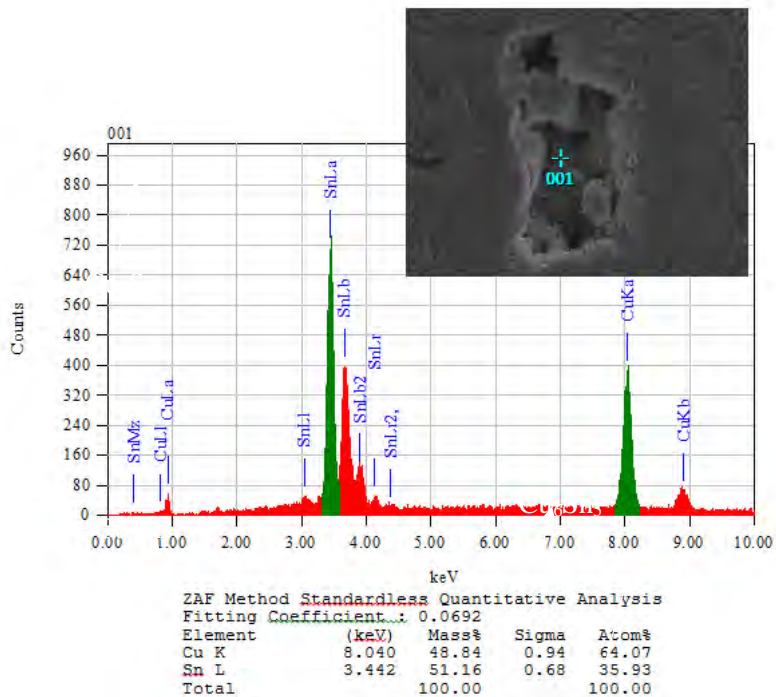
Gambar 4.17 Analisis Morfologi Spesimen Temperatur 100°C Tekanan 300 MPa Perbesaran 1500x



Gambar 4.18 Hasil EDX Fasa Senyawa Intermetalik Cu_3Sn



Gambar 4.19 Hasil EDX Fasa Cu

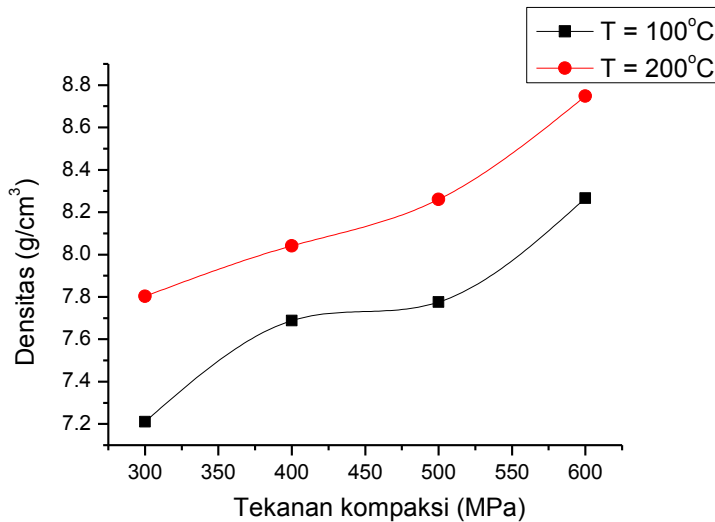


Gambar 4.20 Hasil EDX Fasa Senyawa Intermetallik Cu_6Sn_5



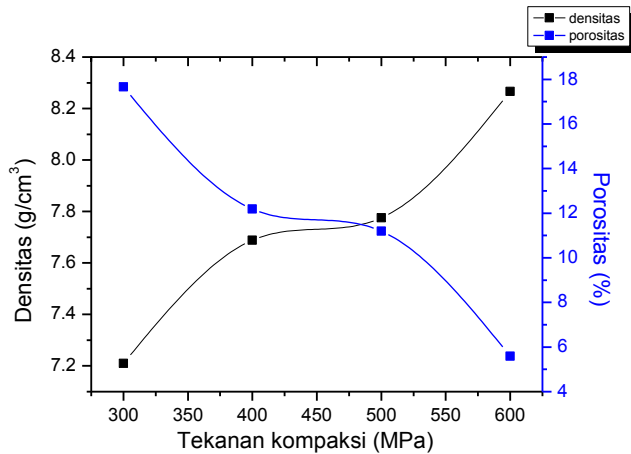
4.1.4. Hasil Perhitungan Densitas

Pada proses metalurgi serbuk untuk menjadikan serbuk logam menjadi sebuah padatan maka serbuk logam tersebut harus melalui proses kompaksi. Berbeda dengan proses manufaktur lain bentuk padatan hasil metalurgi serbuk tidak sepenuhnya *solid* dan meninggalkan rongga pada bagian padatan yang tidak tersisipi oleh serbuk logam, rongga ini selanjutnya disebut dengan porositas. Maka untuk mengetahui tingkat kepadatan spesimen hasil metalurgi serbuk maka perlu dilakukan pengukuran densitas. Densitas dan porositas merupakan aspek yang memiliki korelasi dan yang saling mempengaruhi. Ketika densitas material meningkat maka porositas material akan berkurang demikian juga terjadi sebaliknya. Pengujian densitas menggunakan metode Archimedes seperti yang diterangkan pada bab 3 menggunakan perhitungan persamaan 3.1; 3.2 dan 3.3. Pertama, sampel dikeringkan lalu dihitung massa keringnya. Kedua, Sampel dicelupkan kedalam *aquades* dan diukur massa saat didalam air. Pada hasil pengujian densitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 terlihat bahwa dengan meningkatnya tekanan maka semakin meningkat pula densitas. Pada temperatur penekanan 100 °C terukur bahwa pada setiap kekuatan penekanan densitas spesimen lebih rendah dibanding penekanan dengan temperatur 200°C.

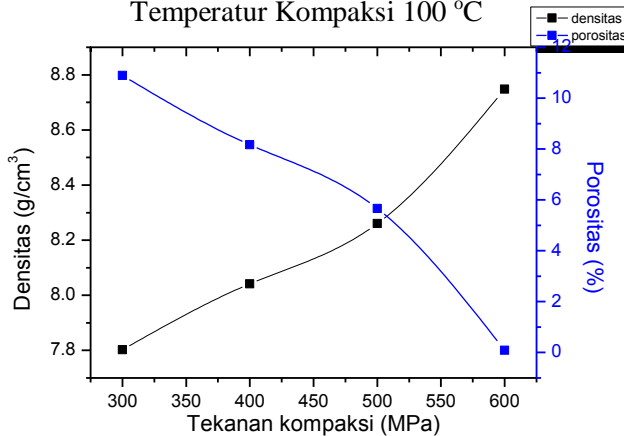


Gambar 4.21 Hubungan Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas Komposit Cu-10wt% Sn

Densitas spesimen pada kedua temperatur jika diamati mengalami kenaikan pada setiap kenaikan tekanan kompaksi. Pada temperatur 200°C kenaikan signifikan terjadi pada tekanan 600 MPa dibanding tekanan 500 MPa. Pada temperatur 100°C kenaikan signifikan terjadi pada tekanan 300 MPa dibanding tekanan 400 MPa dan tekanan 500 MPa dibanding 600 MPa. Demikian juga terjadi pada porositas terjadi grafik yang sama namun porositas mengalami penurunan di setiap tekanannya ditunjukkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23. Kenaikan densitas naik seiring dengan kenaikan tekanan kompaksi sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Feng (2011) dan penurunan persentase porositas seiring meningkatnya tekanan kompaksi sesuai dengan (Ngai, 2005)



Gambar 4.22 Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Cu-10wt% Sn Temperatur Kompaksi 100 °C

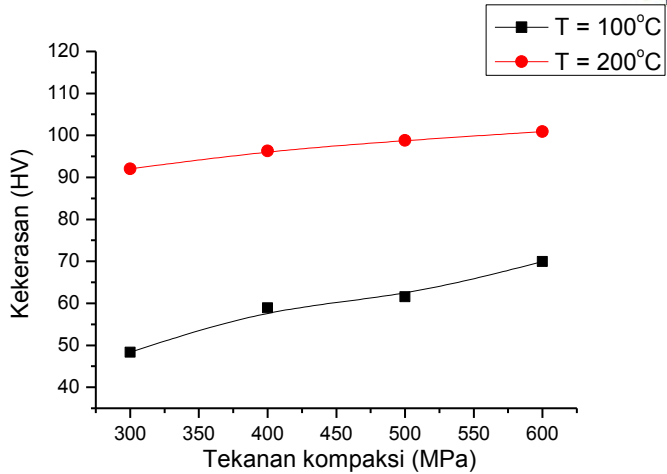


Gambar 4.23 Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Porositas Komposit Cu-10wt% Sn Temperatur Kompaksi 200 °C

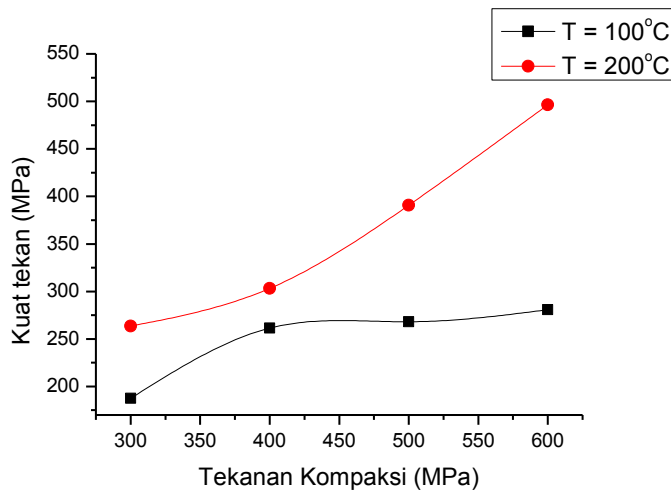


4.1.5. Hasil Analisa Sifat Mekanik

Pada analisis ini didapat respon sifat mekanik terhadap penekanan dan temperatur penekanan. Pada analisis sifat mekanik metode analisis yang dilakukan adalah dengan *compressive test* dan test kekerasan. Dimana metode test kekerasan menggunakan *Rockwell F* (HRF). Metode pengujian kekerasan dengan *Rockwell F* (HRF) dipilih karena indenter yang digunakan 1/16" bola sehingga tidak dikhawatirkan mempengaruhi hasil uji kekerasn komposit Cu-Sn karena adanya porositas (Vicko, 2012). Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui ketahanan material terhadap goresan atau abrasi dan indentasi akibat beban statis atau beban dinamis (Kalpakjian, 1991). Tujuan dari uji kekerasan sendiri untuk mengetahui ketahanan material komposit Cu-10wt% Sn ketika digunakan sebagai peluru terhadap laras senjata api (Vicko, 2012). Pada hasil analisa *compressive test* didapat bahwa pada temperatur ditunjukkan pada Gambar 4.25 penekanan 200°C kekuatan tekan maksimum pada setiap penekanan kompaksi meningkat dan pada temperatur penekanan 100°C juga mengalami peningkatan seiring penambahan penekanan kompaksi. Namun pada temperatur penekanan 100°C peningkatannya tidak signifikan temperatur penekanan 200°C. Sedangkan pada pengujian kekerasan berbeda dibanding dengan *compressive test*. Pada temperatur penekanan 100°C terjadi peningkatan kekerasan signifikan pada penekanan 300, 400 dan 500 MPa namun pada penekanan 600 MPa terjadi penurunan nilai kekerasan sedangkan pada temperatur penekanan 200°C terjadi kenaikan kekerasan dari penekanan kompaksi 400, 500 dan 600 MPa, namun tidak signifikan. Kekerasan komposit juga ikut meningkat menyerupai kenaikan densitas komposit Cu-Sn. Berbeda dengan *compressive test* yang kenaikannya tidak linier dibanding kekerasan yang kenaikannya cenderung linier.



Gambar 4.24 Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Kekerasan Komposit Cu-10wt% Sn



Gambar 4.25 Hubungan Antara Tekanan Kompaksi Terhadap Kuat Tekan Maksimum Komposit Cu-10wt% Sn



4.2. Pembahasan

Penelitian tentang karakterisasi material peluru *frangible* berbahan Tembaga – Timah dengan komposisi Cu-10wt% Sn dengan 0,7% *zinc stearate* ini ditujukan untuk mengetahui apakah material subjek masuk kriteria sebagai material untuk peluru *frangible*. Penelitian dilakukan dengan menganalisa sifat mekanik dari material berupa kekuatan tekan dan kekerasan permukaan sebagai efek dari variasi temperatur kompaksi dan tekanan kompaksi. Metode pembuatan pada penelitian sebelumnya serbuk serta sifat fisik seperti densitas dan porositas juga dianalisa untuk mengetahui penyebab fenomena yang terjadi pada material. Data yang diperoleh dari penelitian akan dibandingkan dengan kriteria material untuk peluru *frangible* yang telah diteliti beberapa peneliti. Menurut Hansen (2008) densitas yang diperlukan adalah 7.1 g/cm^3 – 8.5 g/cm^3 . Sementara kekuatan tekan dan kekerasan permukaan diteliti oleh kruachatturat (2009) berkisar antara 31 MPa – 310 MPa dan 54 – 119 HV.

Dari data hasil penelitian sifat mekanik komposit Cu-10wt% Sn dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan maksimum mengalami kenaikan sesuai dengan yang dialami oleh densitas pada setiap penekanan kompaksi. Pada temperatur kompaksi 200°C nilai densitas maupun nilai kuat tekannya selalu lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur kompaksi 100°C. Dengan bertambahnya nilai densitas maka akan diikuti dengan berkurangnya porositas. Berkurangnya persentase porositas dibuktikan pada pengamatan gambar SEM perbesaran 300x pada Gambar 4.9, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 masing-masing adalah spesimen dengan tekanan kompaksi 300 MPa, 400 MPa dan 500 MPa dengan temperatur kompaksi 100°C dapat dilihat bahwa porositas yang muncul pada gambar berkurang seiring naiknya tekanan kompaksi. Bahkan untuk tekanan kompaksi 600 MPa diperlukan pengamatan gambar SEM dengan perbesaran 1500x untuk mendapatkan tampilan porositas pada spesimen tersebut. Ini menandakan tidak hanya jumlah porositas saja yang berkurang namun ukurannya juga ikut berkurang. Kuat tekan



meningkat yang juga diikuti dengan peningkatan densitas sesuai dengan teori pada (German, 1986). Menurut kriteria sifat peluru *frangible* spesimen hasil penelitian yang tidak memenuhi kriteria tersebut adalah spesimen tekanan 600 MPa dengan temperatur 200°C saja. Dapat dilihat pula dari karakterisasi menggunakan XRD, bahwa fasa yang terbentuk dari setiap kenaikan tekanan adalah fasa Cu, fasa Cu₃Sn, fasa Cu₆Sn₅ dan fasa Sn pada temperatur 100°C sedangkan pada temperatur 200°C terbentuk fasa Cu, fasa Cu₃Sn dan fasa Cu₆Sn₅. Dapat disimpulkan perbedaan temperatur 200°C terjadi perbedaan fasa yang terbentuk dibanding temperatur 100°C dimana fasa Sn tidak ditemukan dalam karakterisasi melalui XRD. Terbentuknya fasa intermetallik tersebut terjadi akibat difusi Sn menuju Cu dapat dijelaskan dengan hukum fick's. Dimana pada teori tersebut dijelaskan bahwa difusi terjadi karena perbedaan konsentrasi antara dua komponen yang mengakibatkan aliran komponen zat dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan sifat mekanik antara temperatur 100°C dan 200°C dipengaruhi oleh faktor perbedaan fasa yang terbentuk dan perbedaan nilai densitas. Sedangkan perbedaan sifat mekanik dari setiap kenaikan tekanan diakibatkan oleh perbedaan densitas. Dimana Vicko (2016) dalam penelitiannya juga mengalami peningkatan densitas seiring dengan kenaikan tekanan kompaksi. Untuk karakterisasi menggunakan uji SEM menggunakan detektor *secondary electron* yang mempunyai kemampuan menampilkan gambar morfologi sampel dengan resolusi tinggi. Dari hasil penamatan uji SEM terdapat morfologi fasa yang memiliki bentuk bulat dan fasa yang memiliki bentuk permukaan kasar dan pipih. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Banovic (2007) fasa Cu₆Sn₅ memiliki bentuk *nodular* dan fasa Cu₃Sn memiliki bentuk *fine grain platelet* ditunjukkan pada Gambar 2.8



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

➤ Perhitungan Massa Serbuk

- Volume komposit

Volume komposit menggunakan bentuk silinder dari pellet

$$v_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$$

➤ Massa matriks

$$m_m = a \cdot \frac{\varphi_f \cdot \varphi_m}{a \cdot \varphi_f + b \cdot \varphi_m} \cdot v_c$$

➤ Massa filler

$$m_f = b \cdot \frac{\varphi_f \cdot \varphi_m}{a \cdot \varphi_f + b \cdot \varphi_m} \cdot v_c$$

Keterangan :

m_m = Massa matriks

m_f = Massa filler

a = Fraksi massa filler

b = Fraksi massa matriks

φ_f = Densitas filler

φ_m = Densitas matriks

v_c = Volume filler

Hasil perhitungan volume sampel adalah sebagai berikut :

$$v_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$$

$$v_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 11 \text{ mm}$$

$$v_c = 863,5 \text{ mm}^3 = 0,8635 \text{ cm}^3$$

Perhitungan massa masing-masing serbuk adalah sebagai berikut:

Perhitungan massa matriks

$$m_m = a \cdot \frac{\varphi_f \cdot \varphi_m}{a \cdot \varphi_f + b \cdot \varphi_m} \cdot v_c$$

$$m_m = 0,9 \cdot \frac{(8,96) \cdot (7,3)}{0,1 \cdot (8,96) + 0,9 \cdot (7,3)} \cdot (0,8635)$$

$$m_m = 6,8078 \text{ gr}$$

Perhitungan massa *filler*

$$m_f = b \cdot \frac{\varphi_f \cdot \varphi_m}{a \cdot \varphi_f + b \cdot \varphi_m} \cdot v_c$$

$$m_f = 0,1 \cdot \frac{(8,96) \cdot (7,3)}{0,1 \cdot (8,96) + 0,9 \cdot (7,3)} \cdot (0,8635)$$

$$m_f = 0,7564 \text{ gr}$$

Sehingga massa total komposit adalah

$$m_f + m_m = m_{total}$$

$$0,7564 + 6,8078 = 7,5642 \text{ gr}$$

Perhitungan massa *zinc stearat*

$$m_{zinc \text{ stearate}} = m_{total} \cdot 0,7\%$$

$$m_{zinc \text{ stearate}} = (7,5642) \cdot 0,7\%$$

$$m_{zinc \text{ stearate}} = 0,0529$$

Perhitungan kecepatan mixing

Perhitungan kecepatan mixing tabung dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_0 = \frac{32}{d^{0,5}}$$

$$N_0 = \frac{32}{(0,0452)^{0,5}}$$

$$N_0 = 150,515 \text{ RPM}$$

LAMPIRAN B

➤ Data uji kompresif

Pengujian kompresif dengan hasil keluaran nilai kgf yang dikonversikan menjadi MPa menggunakan penampang ukuran jari-jari 0,5 cm dan bentuk lingkaran menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A = \pi r^2$$
$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

F = Gaya tekan dalam (Newton)

A = Luas penampang yang terkena beban (mm²)

P = Tegangan (MPa)

Π = 3.14

r = jari- jari (mm)

Tabel A Uji kompresif

Tekanan	Temperatur	Max kgf	Max MPa
300 MPa	100°C	1501,255	187,449
	200°C	2111,37	263,629
400 MPa	100°C	2093,21	261,3615
	200°C	2429,155	303,308
500 MPa	100°C	2147.74	268,1701
	200°C	3130.37	390,8628
600 MPa	100°C	2199,8	280,75305
	200°C	3976,175	496,4713

LAMPIRAN C

Tabel B Hasil Uji Densitas

Tekanan	Temperatur	Densitas (g/cm ³)	Densitas Rata-rata	Porositas (%)
300	100	6.88339222	7.2098391	17.6571216
		7.26187845		
		7.48424664		
	200	7.99349804	7.8026140	10.8870956
		7.83391304		
		7.58043117		
400	100	7.58491361	7.6886870	12.1882449
		7.63510971		
		7.84603792		
	200	8.15002259	8.0410884	8.16350273
		7.94809310		
		8.02514970		
500	100	7.65973557	7.7753494	11.1984825
		7.87937931		
		7.78693342		
	200	7.75249116	8.2602393	5.66060209
		8.32206323		
		8.70616352		
600	100	7.986288072	8.26595146	5.59536413
		8.661191223		
		8.150375085		
	200	8.57930871	8.7482479	0.08710244
		8.88979641		
		8.77563869		

LAMPIRAN D

Perhitungan konversi kekerasan skala Hardness Rockwell F (HRF) ke Hardness Vicker (HV) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{1}{HV} = 0,03378 \times 10^{-2} - 7,12218 \times 10^{-4} (HRF)$$

Keterangan :

HV = Hardness Vickers

HRF = Hardness Rockwell F

Tabel C Hasil uji kekerasan

Tekanan	Temperatur	HRF	HV
300	100°C	38.94444444	48.32118265
	200°C	82.83333333	91.99761364
400	100°C	55.55555556	58.90572793
	200°C	85	96.2944453
500	100°C	61.55555556	63.9667914
	200°C	86.16666667	98.77866275
600	100°C	67.55555556	69.97927183
	200°C	87.11111111	100.8855781

LAMPIRAN E

Perhitungan analisa kuantitatif hasil XRD

- Sampel temperatur 100°C tekanan 400 MPa

$$\%Cu = \frac{I_{Cu}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Cu = \frac{1431.05}{1431.05 + 118.33 + 92.5 + 1224.87} \times 100\%$$

$$\%Cu = 49.919 \%$$

$$\%Sn = \frac{I_{Sn}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Sn = \frac{118.33}{1431.05 + 118.33 + 92.5 + 1224.87} \times 100\%$$

$$\%Sn = 4.128 \%$$

$$\%Cu_3Sn = \frac{I_{Cu_3Sn}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Cu_3Sn = \frac{92.5}{1431.05 + 118.33 + 92.5 + 1224.87} \times 100\%$$

$$\%Cu_3Sn = 3.227\%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = \frac{I_{Cu_6Sn_5}}{I_{Cu} + I_{Sn} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = \frac{1224.87}{1431.05 + 118.33 + 92.5 + 1224.87} \times 100\%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = 42.727 \%$$

- Sampel temperatur 200°C tekanan 400 MPa

$$\%Cu = \frac{I_{Cu}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Cu = \frac{1323.27}{1323.27 + 71.54 + 1135.38} \times 100\%$$

$$\%Cu = 52.299 \%$$

$$\%Cu_3Sn = \frac{I_{Cu_3Sn}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

$$\%Cu_3Sn = \frac{71.54}{1323.27 + 71.54 + 1135.38} \times 100\%$$

$$\%Cu_3Sn = 2.827 \%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = \frac{I_{Cu_6Sn_5}}{I_{Cu} + I_{Cu_3Sn} + I_{Cu_6Sn_5}} \times 100\%$$

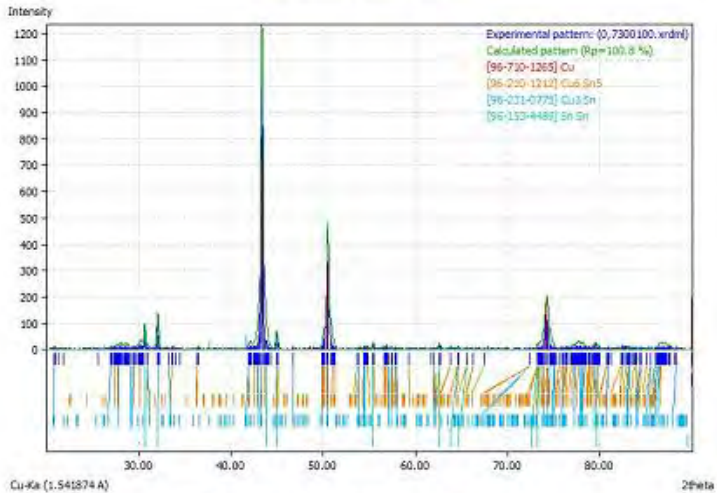
$$\%Cu_6Sn_5 = \frac{1135.38}{1323.27 + 71.54 + 1135.38} \times 100\%$$

$$\%Cu_6Sn_5 = 44.873 \%$$

LAMPIRAN F

➤ TEKANAN 300 MPa TEMEPERATUR 100°C

Diffraction Pattern Graphics



Match! Copyright © 2003-2010 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany

<i>2theta</i> [°]	<i>d</i> [Å]	<i>I/I</i> ₀	<i>FWHM</i>
20.79	4.2717	6.44	0.2005
26.9	3.3146	6.73	0.2005
27.34	3.2621	7.51	0.2005
27.68	3.2228	6.03	0.2005
27.76	3.2137	6.73	0.2005
29.18	3.0601	6.38	0.2005
29.36	3.0417	6.65	0.2005
29.47	3.0315	6.06	0.2005
30.11	2.9683	10.42	0.2005
30.19	2.9607	17.76	0.2005
30.65	2.9171	67.96	0.2005

30.72	2.9101	39.06	0.2005
31.01	2.8843	7.26	0.2005
31.05	2.8799	5.2	0.2005
32.11	2.7878	53.88	0.2005
33.29	2.6913	5.55	0.2005
33.57	2.6694	6.31	0.2005
36.32	2.4734	5.17	0.2005
41.86	2.158	8.97	0.2005
41.9	2.1561	7	0.2005
42.57	2.1238	5.8	0.2005
42.85	2.1106	14.59	0.2005
43.01	2.1031	43.73	0.2005
43.33	2.0883	1000	0.2005
43.67	2.0728	49.98	0.2005
43.89	2.0629	31.18	0.2005
44.92	2.0179	58.8	0.2005
45.04	2.0128	33.48	0.2005
46.78	1.942	7.36	0.2005
49.88	1.8282	11.42	0.2005
49.93	1.8267	14.15	0.2005
50.04	1.8227	22.16	0.2005
50.15	1.8193	44.23	0.2005
50.45	1.8089	327.03	0.2005
50.55	1.8056	262.79	0.2005
51.04	1.7894	10.42	0.2005
51.24	1.783	6.42	0.2005
53.56	1.7109	5.3	0.2005
53.85	1.7026	9.49	0.2005
54.43	1.6858	5.38	0.2005

54.5	1.6837	6.43	0.2005
54.82	1.6748	6.05	0.2005
55.37	1.6594	16.41	0.2005
55.55	1.6545	5.41	0.2005
56.56	1.6273	8.51	0.2005
56.67	1.6242	5.58	0.2005
56.81	1.6207	6.07	0.2005
57.03	1.6148	5.3	0.2005
57.4	1.6055	6.59	0.2005
57.47	1.6036	5.43	0.2005
57.81	1.595	6.94	0.2005
57.94	1.5918	5.94	0.2005
59.25	1.5597	5.4	0.2005
62.05	1.4957	6.07	0.2005
62.53	1.4855	18.36	0.2005
63.76	1.4598	5.55	0.2005
64.6	1.4427	10.97	0.2005
64.66	1.4416	5.64	0.2005
65.56	1.4239	5.49	0.2005
66.22	1.4114	5.18	0.2005
67.44	1.3888	5.94	0.2005
72.42	1.305	8.27	0.2005
73.15	1.2938	9.37	0.2005
73.2	1.2931	8.42	0.2005
73.36	1.2906	7.46	0.2005
73.47	1.2889	5.28	0.2005
73.64	1.2863	9.26	0.2005
73.84	1.2834	20.2	0.2005
73.88	1.2829	27.66	0.2005

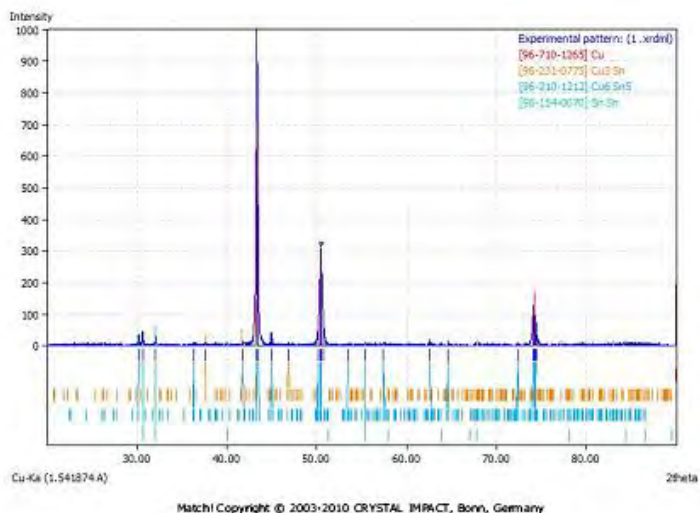
74.26	1.2771	106.58	0.2005
74.34	1.2759	91.62	0.2005
74.52	1.2734	32.3	0.2005
74.58	1.2725	19.88	0.2005
74.95	1.2671	6.95	0.2005
75.03	1.2659	5.23	0.2005
75.57	1.2582	5.75	0.2005
75.85	1.2543	5.46	0.2005
75.98	1.2524	7.59	0.2005
76.22	1.2492	6.02	0.2005
76.35	1.2474	7.03	0.2005
76.46	1.2458	6.01	0.2005
76.61	1.2437	6.06	0.2005
76.82	1.2409	6.33	0.2005
77.01	1.2383	8.28	0.2005
77.11	1.2369	6.85	0.2005
77.19	1.2359	7.99	0.2005
77.31	1.2343	6.11	0.2005
77.39	1.2331	9.5	0.2005
77.5	1.2317	7	0.2005
77.54	1.2311	7.57	0.2005
77.63	1.23	7.81	0.2005
77.68	1.2293	7.23	0.2005
77.73	1.2286	7.67	0.2005
77.77	1.2281	9.3	0.2005
77.86	1.2269	5.98	0.2005
77.9	1.2264	7.71	0.2005
77.99	1.2252	7.56	0.2005
78.09	1.2239	5.78	0.2005

78.14	1.2232	9.05	0.2005
78.19	1.2225	7.42	0.2005
78.24	1.2218	7.73	0.2005
78.42	1.2195	6.25	0.2005
78.46	1.2189	5.45	0.2005
78.71	1.2158	8.37	0.2005
78.87	1.2137	6.72	0.2005
79	1.212	5.72	0.2005
79.18	1.2097	6.76	0.2005
79.25	1.2088	6.91	0.2005
79.45	1.2063	7.52	0.2005
79.53	1.2053	19.52	0.2005
79.6	1.2044	6.35	0.2005
79.75	1.2025	8.2	0.2005
79.84	1.2014	6.48	0.2005
79.93	1.2002	5.77	0.2005
80.73	1.1903	5.26	0.2005
80.83	1.1891	5.99	0.2005
80.97	1.1875	6.14	0.2005
81.2	1.1847	6.06	0.2005
82.31	1.1714	7.36	0.2005
82.41	1.1703	6.08	0.2005
82.48	1.1695	7.09	0.2005
82.68	1.1672	6.23	0.2005
82.72	1.1667	6.5	0.2005
82.9	1.1647	7.85	0.2005
83.07	1.1627	8.15	0.2005
83.16	1.1617	5.19	0.2005
83.25	1.1607	7.45	0.2005

83.56	1.1571	5.32	0.2005
83.69	1.1556	6.08	0.2005
83.83	1.1541	5.43	0.2005
83.96	1.1526	5.27	0.2005
84.31	1.1487	5.52	0.2005
84.44	1.1472	6.38	0.2005
85.08	1.1403	5.38	0.2005
85.46	1.1361	6.14	0.2005
85.99	1.1305	5.75	0.2005
86.12	1.1292	5.72	0.2005
86.32	1.1271	7.34	0.2005
86.4	1.1262	6.18	0.2005
86.46	1.1256	6.46	0.2005
86.5	1.1251	8.04	0.2005
86.6	1.1241	8.44	0.2005
86.69	1.1231	7.17	0.2005
86.74	1.1227	6.85	0.2005
86.82	1.1219	8.28	0.2005
86.85	1.1215	9.76	0.2005
86.95	1.1205	5.28	0.2005
87.03	1.1196	8	0.2005
87.08	1.1191	7.55	0.2005
87.14	1.1186	5.51	0.2005
87.23	1.1177	7.99	0.2005
87.28	1.1171	6.25	0.2005
87.48	1.1151	5.62	0.2005
87.57	1.1141	7.79	0.2005
87.62	1.1136	6.92	0.2005
88.01	1.1097	5.14	0.2005

88.31	1.1067	5.34	0.2005
89.89	1.0913	7.79	0.2005

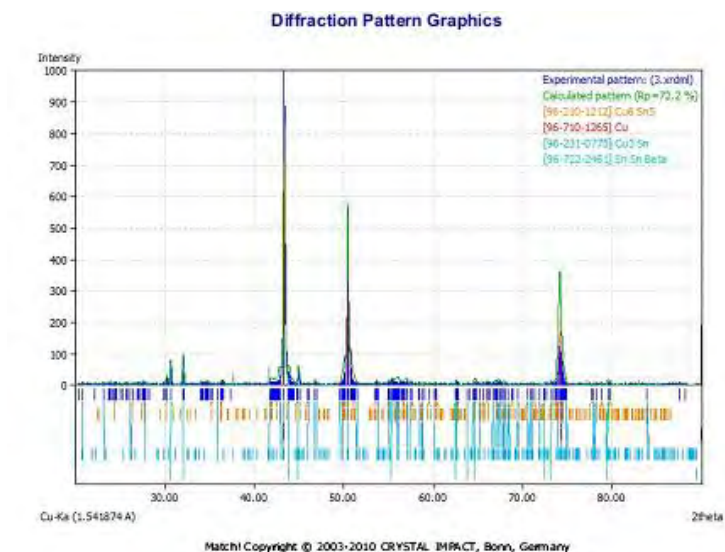
➤ **TEKANAN 400 MPa TEMPERATUR 100°C**



<i>2theta</i> <i>[°]</i>	<i>d</i> [Å]	<i>h</i>/<i>k</i>/<i>l</i>	<i>FWHM</i>
30.2	2.9592	34.93	0.2005
30.64	2.9175	44.12	0.2005
32.03	2.7945	53.74	0.2005
36.3	2.4748	10.97	0.2005
37.59	2.393	10.98	0.2005
41.75	2.1636	13.33	0.2005
43.33	2.0881	1000	0.2005
43.42	2.084	712.54	0.2005
44.92	2.0178	42.32	0.2005
45.02	2.0135	28.97	0.2005

46.81	1.9407	12.09	0.2005
50.18	1.8182	63.14	0.2005
50.45	1.8091	309.41	0.2005
50.49	1.8077	299.85	0.2005
53.45	1.7144	8.55	0.2005
55.34	1.6603	9.79	0.2005
57.41	1.6052	10.17	0.2005
62.55	1.4849	20.47	0.2005
64.59	1.4429	15.9	0.2005
72.41	1.3051	9.65	0.2005
74.09	1.2797	109.67	0.2005
74.17	1.2785	121.64	0.2005
74.23	1.2776	100.83	0.2005
74.27	1.277	95.43	0.2005
74.33	1.2761	91.02	0.2005
74.38	1.2753	67.08	0.2005

➤ **TEKANAN 500 MPa TEMPERATUR 100°C**



<i>2theta [°]</i>	<i>d [Å]</i>	<i>I/I0</i>	<i>FWHM</i>
20.73	4.2857	5.35	0.1671
23.2	3.8341	6.14	0.1671
24.38	3.6507	6.83	0.1671
26.17	3.4057	6.49	0.1671
26.53	3.3594	5.88	0.1671
27.48	3.2458	6.54	0.1671
27.66	3.2246	7.22	0.1671
27.76	3.2139	6.97	0.1671
30.23	2.9562	22.84	0.1671
30.65	2.9166	57.24	0.1671
30.71	2.9111	38.43	0.1671
32.04	2.7936	82.42	0.1671

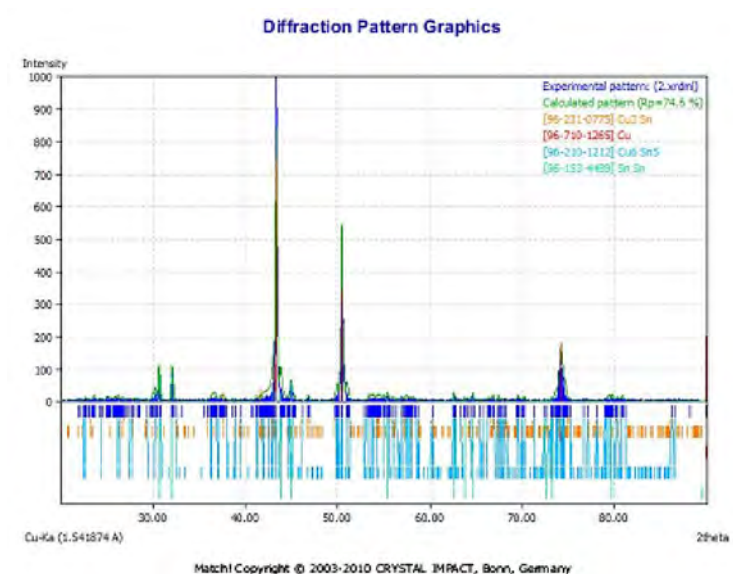
35.07	2.5586	5.31	0.1671
35.31	2.5418	7.04	0.1671
35.88	2.5026	5.75	0.1671
36.23	2.4793	7.6	0.1671
36.37	2.4704	5.55	0.1671
41.73	2.1644	6.67	0.1671
41.83	2.1594	6.61	0.1671
41.97	2.1528	8.27	0.1671
42.52	2.1262	8.84	0.1671
42.92	2.1071	27.69	0.1671
43.33	2.0884	1000	0.1671
43.79	2.0673	24.41	0.1671
43.89	2.0629	40.25	0.1671
44.71	2.0269	5.92	0.1671
44.91	2.0182	53.87	0.1671
45.03	2.0131	28.86	0.1671
45.93	1.9759	5.3	0.1671
46.03	1.9718	5.9	0.1671
46.75	1.9432	7	0.1671
46.95	1.9355	8.93	0.1671
49.51	1.841	6.41	0.1671
49.79	1.8315	8.36	0.1671
49.85	1.8293	12.59	0.1671
49.89	1.8279	13.14	0.1671
49.99	1.8246	20.65	0.1671
50.06	1.8221	25.99	0.1671
50.16	1.8186	58.42	0.1671
50.44	1.8092	328.42	0.1671
50.49	1.8077	306.08	0.1671

50.97	1.7917	18.13	0.1671
51.32	1.7805	7.34	0.1671
51.45	1.776	6.43	0.1671
53.49	1.7131	7.71	0.1671
53.74	1.7057	6.83	0.1671
53.8	1.7041	5.6	0.1671
54.95	1.6709	8.22	0.1671
55.03	1.6687	6.72	0.1671
55.13	1.6658	5.96	0.1671
55.35	1.6599	16.15	0.1671
55.58	1.6534	9.77	0.1671
55.86	1.646	8.03	0.1671
55.92	1.6443	7.81	0.1671
56.03	1.6412	7.27	0.1671
56.13	1.6387	5.84	0.1671
56.56	1.6273	8.7	0.1671
56.74	1.6225	9.51	0.1671
57.09	1.6133	10.75	0.1671
57.46	1.6039	5.6	0.1671
57.59	1.6006	5.32	0.1671
57.63	1.5995	7.18	0.1671
58.44	1.5793	5.91	0.1671
58.86	1.569	5.54	0.1671
59.48	1.554	6.98	0.1671
60.08	1.5399	5.4	0.1671
60.25	1.5361	5.52	0.1671
60.37	1.5333	6.4	0.1671
62.47	1.4867	5.3	0.1671
62.55	1.485	13.94	0.1671

62.67	1.4824	6.58	0.1671
62.75	1.4807	7.73	0.1671
63.81	1.4587	8.6	0.1671
64.51	1.4446	6.89	0.1671
64.61	1.4426	12.03	0.1671
64.67	1.4413	6.19	0.1671
65.23	1.4304	6.87	0.1671
65.52	1.4248	5.6	0.1671
65.94	1.4167	7.34	0.1671
66.11	1.4133	5.88	0.1671
66.72	1.402	8.59	0.1671
67.03	1.3962	7	0.1671
67.1	1.395	7.52	0.1671
67.29	1.3915	8.73	0.1671
67.4	1.3895	5.69	0.1671
67.48	1.3879	7.56	0.1671
67.62	1.3855	6.47	0.1671
67.86	1.3811	5.96	0.1671
67.95	1.3795	5.65	0.1671
68	1.3786	7.7	0.1671
68.38	1.3719	5.75	0.1671
68.77	1.3652	6.2	0.1671
68.88	1.3632	5.82	0.1671
69.48	1.3528	6.04	0.1671
70.5	1.3358	6.97	0.1671
70.93	1.3287	5.28	0.1671
71.07	1.3265	5.41	0.1671
71.28	1.3231	5.35	0.1671
71.83	1.3144	6.13	0.1671

72.37	1.3058	6.15	0.1671
73.16	1.2936	11.83	0.1671
73.43	1.2895	6.43	0.1671
73.65	1.2863	8.11	0.1671
73.75	1.2847	14.91	0.1671
73.8	1.284	18.88	0.1671
73.85	1.2832	27.33	0.1671
74.04	1.2804	88.14	0.1671
74.15	1.2788	126.55	0.1671
74.21	1.2779	112.47	0.1671
74.27	1.2771	105.62	0.1671
74.4	1.2751	69.14	0.1671
74.5	1.2736	37.03	0.1671
74.89	1.2681	5.81	0.1671
77.59	1.2304	5.42	0.1671
77.87	1.2268	5.67	0.1671
78.14	1.2231	6.01	0.1671
78.83	1.2142	5.61	0.1671
79.47	1.206	7.93	0.1671
79.51	1.2056	12.12	0.1671
79.75	1.2025	6.75	0.1671
79.79	1.202	7.6	0.1671
83.83	1.1541	5.55	0.1671

➤ **TEKANAN 600 MPa TEMPERATUR 100°C**



2θ/deg	d [Å]	hkl	FWHM
22.45	3.9608	6.65	0.1671
22.61	3.9319	6.56	0.1671
23.22	3.8313	6.59	0.1671
24.37	3.6533	7.61	0.1671
26.13	3.411	7.2	0.1671
26.21	3.4007	6.84	0.1671
26.43	3.3724	5.77	0.1671
26.77	3.3301	5.76	0.1671
27.49	3.2445	6.29	0.1671
27.67	3.2243	8.22	0.1671
27.86	3.2026	6.56	0.1671
29.33	3.0453	6.16	0.1671

30.2	2.9598	20.01	0.1671
30.66	2.9163	81.71	0.1671
30.72	2.9108	44.63	0.1671
30.8	2.9032	12.73	0.1671
32.04	2.7934	88.74	0.1671
32.59	2.7473	5.88	0.1671
35.87	2.5039	6.21	0.1671
36.28	2.4763	8.7	0.1671
36.38	2.4696	8.25	0.1671
36.94	2.4337	7.86	0.1671
37.14	2.4209	7.75	0.1671
37.59	2.393	5.89	0.1671
37.98	2.369	5.79	0.1671
38.84	2.3188	5.98	0.1671
38.94	2.3132	7.04	0.1671
39.56	2.2782	6.09	0.1671
41.18	2.1921	6.84	0.1671
41.3	2.1862	7.32	0.1671
41.62	2.1702	6.68	0.1671
41.8	2.1609	9.96	0.1671
41.93	2.1545	9.58	0.1671
42.51	2.1264	11.75	0.1671
42.92	2.1071	30.09	0.1671
42.97	2.1048	36.74	0.1671
43.07	2.1	84	0.1671
43.33	2.0883	1000	0.1671
43.73	2.0699	40.56	0.1671
43.89	2.0628	37.01	0.1671
44.64	2.0298	7.27	0.1671

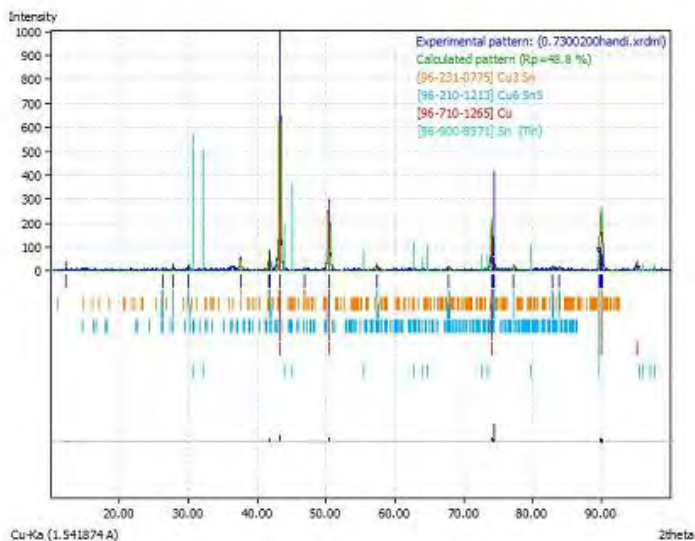
44.76	2.0247	8.93	0.1671
44.92	2.0182	55.02	0.1671
45.04	2.0128	32.9	0.1671
46.16	1.9664	5.82	0.1671
46.71	1.9445	8.62	0.1671
46.91	1.9367	7.02	0.1671
49.75	1.8327	7.75	0.1671
49.81	1.8307	8.55	0.1671
49.87	1.8285	13.77	0.1671
49.96	1.8255	15.27	0.1671
50.03	1.8231	27.57	0.1671
50.43	1.8097	309.5	0.1671
50.49	1.8077	319.76	0.1671
50.98	1.7915	20.92	0.1671
51.3	1.7811	7.42	0.1671
52.88	1.7315	5.88	0.1671
53.07	1.7258	5.8	0.1671
53.38	1.7164	7.27	0.1671
53.75	1.7054	8.35	0.1671
53.84	1.7028	8.76	0.1671
54.19	1.6927	7.03	0.1671
54.29	1.6896	6.28	0.1671
54.43	1.6858	8.47	0.1671
54.48	1.6844	8.6	0.1671
55	1.6697	7.33	0.1671
55.1	1.6667	5.74	0.1671
55.4	1.6584	10.78	0.1671
55.62	1.6526	5.93	0.1671
55.87	1.6457	6.97	0.1671

55.99	1.6423	7.58	0.1671
56.04	1.641	7.13	0.1671
56.42	1.6309	6.14	0.1671
56.79	1.6212	9.82	0.1671
57.09	1.6133	8.51	0.1671
57.31	1.6076	6.17	0.1671
57.43	1.6047	7.36	0.1671
57.47	1.6035	5.76	0.1671
57.6	1.6003	8.55	0.1671
57.83	1.5945	7.4	0.1671
57.9	1.5927	6.36	0.1671
58.06	1.5887	8.64	0.1671
58.48	1.5782	8.64	0.1671
58.72	1.5723	5.98	0.1671
60.2	1.5372	6.45	0.1671
62.51	1.4859	9.67	0.1671
62.55	1.4849	22.05	0.1671
62.72	1.4814	11.22	0.1671
62.82	1.4792	7.08	0.1671
63.31	1.469	5.96	0.1671
63.79	1.4591	10.36	0.1671
64.34	1.4479	5.8	0.1671
64.38	1.4471	7.74	0.1671
64.54	1.444	7.52	0.1671
64.61	1.4426	21.53	0.1671
65.36	1.4278	6.48	0.1671
65.65	1.4223	6.05	0.1671
66.25	1.4108	7.78	0.1671
66.6	1.4042	6.87	0.1671

66.76	1.4013	7.41	0.1671
66.9	1.3986	5.93	0.1671
67.35	1.3904	6.23	0.1671
67.43	1.3889	6.76	0.1671
67.71	1.3838	6.97	0.1671
67.77	1.3828	5.77	0.1671
67.99	1.3789	6.66	0.1671
68.05	1.3777	6.03	0.1671
68.24	1.3745	5.79	0.1671
69.37	1.3548	5.91	0.1671
69.48	1.3528	8.34	0.1671
69.57	1.3513	6.55	0.1671
69.88	1.3461	5.83	0.1671
70.19	1.341	6.17	0.1671
70.26	1.3398	8.87	0.1671
71.23	1.3239	5.74	0.1671
72.42	1.305	7.35	0.1671
72.67	1.3012	5.75	0.1671
73.1	1.2945	6.26	0.1671
73.19	1.2931	10.06	0.1671
73.36	1.2906	7.86	0.1671
73.6	1.287	6.47	0.1671
73.75	1.2848	18.62	0.1671
73.9	1.2825	38.79	0.1671
73.96	1.2816	50.76	0.1671
74.14	1.279	134.01	0.1671
74.28	1.2769	105.3	0.1671
74.41	1.2749	65.39	0.1671
74.56	1.2728	26.85	0.1671

74.87	1.2682	9.21	0.1671
74.98	1.2667	6.6	0.1671
75.2	1.2635	5.84	0.1671
76.67	1.2429	6.55	0.1671
77.07	1.2375	7.03	0.1671
78.04	1.2245	5.86	0.1671
78.91	1.2131	6.75	0.1671
79.07	1.2112	6.12	0.1671
79.28	1.2084	7.21	0.1671
79.34	1.2077	6.98	0.1671
79.53	1.2053	14.48	0.1671
79.64	1.2039	7.38	0.1671
80.02	1.1991	5.73	0.1671
80.23	1.1965	6.05	0.1671
80.38	1.1946	10.03	0.1671
80.44	1.1939	6.2	0.1671
80.71	1.1907	8.31	0.1671
81.22	1.1844	7.64	0.1671
86.1	1.1293	6.36	0.1671
86.45	1.1257	6.2	0.1671

➤ **TEKANAN 300 MPa TEMPERATUR 200°C**

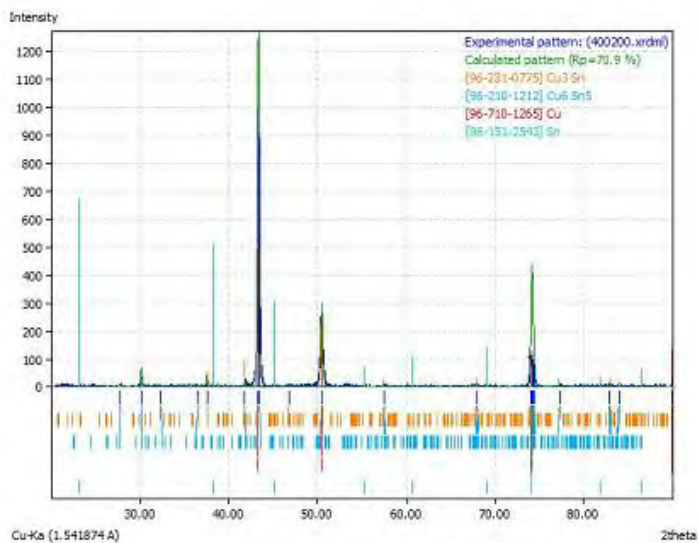


Malchi Copyright © 2003-2010 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany

2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM
12.2	7.2543	46.44	2.8854
26.25	3.3949	15.28	0.234
27.77	3.2124	24.5	0.234
30.09	2.9695	27.32	0.234
37.57	2.3941	63.78	0.3253
41.74	2.1639	49.27	0.234
41.82	2.1599	78.58	0.3596
43.32	2.0886	1000	0.2367
46.82	1.9403	14.09	0.234
50.38	1.8113	113.32	0.6089
50.43	1.8097	296.53	0.2849

57.47	1.6036	28.58	0.234
67.76	1.3829	19.45	0.234
74.08	1.2799	115.49	0.234
74.1	1.2795	121.05	0.282
74.32	1.2763	59.9	0.2964
74.39	1.2753	417.41	11.6977
77.27	1.2348	21.83	0.234
82.87	1.165	21.65	0.234
83.92	1.153	13.69	0.234
89.74	1.0928	57.98	0.234
89.84	1.0918	81.97	0.234
89.95	1.0908	87.42	0.234
90	1.0902	81.55	0.234
90.07	1.0896	69.51	0.234
90.13	1.089	64.67	0.234
90.19	1.0885	59.74	0.234

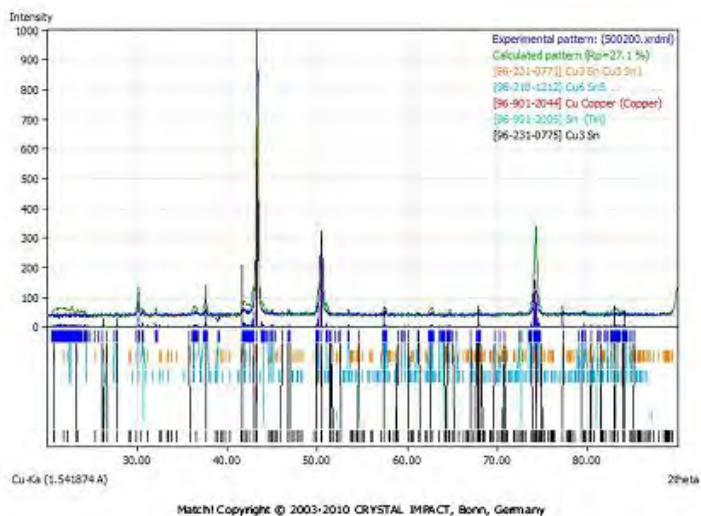
➤ **TEKANAN 400 MPa TEMPERATUR 200°C**



<i>2theta</i> <i>[°]</i>	<i>d</i> [Å]	<i>h</i>/<i>k</i>/<i>l</i>	<i>FWHM</i>
27.76	3.2135	7.32	0.2005
30.12	2.9672	37.02	0.2005
30.17	2.9624	38.15	0.2005
32.32	2.7696	9.81	0.2005
36.52	2.4606	6.47	0.2005
37.54	2.396	24.32	0.2005
37.59	2.393	27.13	0.2005
41.75	2.1636	21.91	0.2005
43.33	2.0884	1000	0.2005
43.44	2.0833	626.98	0.2005
46.75	1.9433	10.49	0.2005
50.44	1.8092	174.51	0.2327

50.49	1.8077	189.3	0.218
57.46	1.6039	15.04	0.2005
67.92	1.3801	14.02	0.2005
74.02	1.2807	77.39	0.2005
74.1	1.2795	116.47	0.2005
74.14	1.279	122.84	0.2005
74.18	1.2784	114.92	0.2005
74.23	1.2776	98.36	0.2005
74.29	1.2768	92.43	0.2005
74.4	1.2751	63.91	0.2005
77.28	1.2347	13.11	0.2005
82.91	1.1645	12.01	0.2005
83.96	1.1526	7.44	0.2005
89.89	1.0913	11.13	0.2005

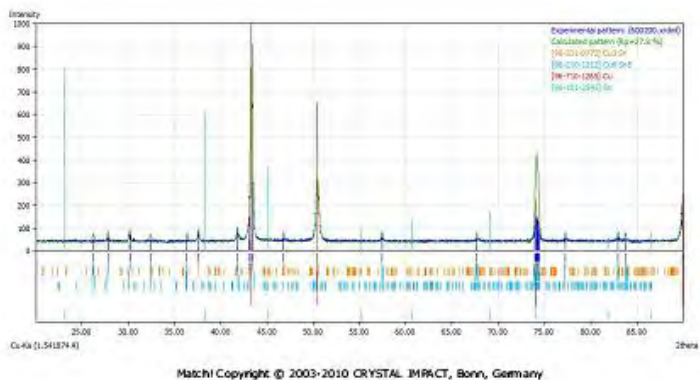
➤ **TEKANAN 500 MPa TEMPERATUR 200°C**



2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM
27.76	3.2135	7.32	0.2005
30.12	2.9672	37.02	0.2005
30.17	2.9624	38.15	0.2005
32.32	2.7696	9.81	0.2005
36.52	2.4606	6.47	0.2005
37.54	2.396	24.32	0.2005
37.59	2.393	27.13	0.2005
41.75	2.1636	21.91	0.2005
43.33	2.0884	1000	0.2005
43.44	2.0833	626.98	0.2005
46.75	1.9433	10.49	0.2005
50.44	1.8092	174.51	0.2327

50.49	1.8077	189.3	0.218
57.46	1.6039	15.04	0.2005
67.92	1.3801	14.02	0.2005
74.02	1.2807	77.39	0.2005
74.1	1.2795	116.47	0.2005
74.14	1.279	122.84	0.2005
74.18	1.2784	114.92	0.2005
74.23	1.2776	98.36	0.2005
74.29	1.2768	92.43	0.2005
74.4	1.2751	63.91	0.2005
77.28	1.2347	13.11	0.2005
82.91	1.1645	12.01	0.2005
83.96	1.1526	7.44	0.2005
89.89	1.0913	11.13	0.2005

➤ **TEKANAN 600 MPa TEMPERATUR 200⁰C**



2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM
26.22	3.3983	47.95	0.2005
27.81	3.2078	59.02	0.2005
30.17	2.9624	70.79	0.2005
32.41	2.7627	49.51	0.2005
36.35	2.4714	48.9	0.2005
37.59	2.3929	72.43	0.2005
41.8	2.1611	80.25	0.2005
43.12	2.0979	145.21	0.415
43.32	2.0886	1000	0.1884
43.42	2.0841	302.42	0.1879
46.8	1.9413	56.34	0.2005
50.45	1.8089	653.71	0.3414
57.44	1.6044	58.35	0.2005
67.67	1.3846	56.47	0.2005
73.98	1.2812	92.45	0.2005

74.05	1.2803	132.73	0.2005
74.14	1.279	160.89	0.2005
74.19	1.2783	145.07	0.2005
74.24	1.2775	135.43	0.2005
74.3	1.2765	118.38	0.2005
74.37	1.2756	95.99	0.2005
74.42	1.2749	75.04	0.2005
77.28	1.2347	55.78	0.2005
82.98	1.1637	57.69	0.2005
83.78	1.1546	52.56	0.2005
89.96	1.0906	141.74	0.2005

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kenaikan tekanan kompaksi *warm compaction* diikuti dengan kenaikan sifat mekanik komposit Cu-10%wt Sn 0,7% zinc stearate. Nilai densitas maksimum dan kuat tekan maksimum adalah sebesar 8,74 g/cm³ dan 496,47 MPa yang didapatkan pada kondisi tekana *warm compaction* 600 MPa dan temperatur 200°C. Sedangkan pada kondisi tekanan 600 MPa dan temperatur 100°C didapatkan densitas maksimum dan kuat tekan maksimum sebesar 8,26 g/cm³ dan 280,75 MPa
2. Kenaikna temperatur *warm compaction* berdampak pada kenaikan sifat mekanik dari peluru frangible Cu-10%wt Sn 0,7% zinc stearate..

5.2. Saran

1. Perlu penggunaan matrial punch yang tahan panas karena penggunaan material punch saat ini kerap buckling atau terdeformasi



(halaman ini sengaja dikosongi)

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Fany Rahmansyah.2015.Pengaruh Kombinasi Ukuran Partikel Cu Dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik dan Densitas Komposit W-Cu.Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ariffin,,A.K.,dkk.2006. "The effect of lubrication in reducing net friction in warm powder compaction process"
materials processing technology 2 0 7
- Banovic, S.W. 2007. "Microstrutural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangible Bullets."
Materials Science and Engineering A 460-461 (2007) 428-435
- Benini, Joseph C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Christy ,T.V. , Murugan, N. dan Kumar, S." A Comparative Study on the Microstructures and Mechanical Properties of Al 6061 Alloy and the MMC Al 6061/TiB₂/12_p . **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**. Vol. 9, No.1
- Callister,William D.2001. **Fundamentals of Materials Science and Engineering**.New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Christy,T.V.,dkk.2010 "A Comparative Study on the Microstructures and Mechanical Properties of Al 6061 Alloy and the MMC Al 6061/TiB₂/12P"
Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering.
- Debade,U.A. dan Jadhaf,M.R.2015 "Experimental study of surfaceintegrity of Al/SiC particulate metal–matrix composites in hot machining". **48th CIRP Conference on Manufacturing System - CIRP CMS 2015**

- Egwurugwu, J.N., dik. 2007. "Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects". **International Journal of Physical Sciences Vol. 2**
- Feng, S.S., Geng, H.R. dan Guo, Zh-Q." Effect of lubricants on warm compaction process of Cu-based composite". **Composites: Part B.**
- German, Randall M. 1984. **Powder Metallurgy Science.** (USA: Metal powder Industries Federation,)
- Geiger, G.H., Poirier, D.R.. 1973. **Transport Phenomena in Metallurgy.** Philippines: Addison-Wesley Publishing Company.
- Getantyo, V., 2014. **Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru *Frangible* dengan Metode Metalurgi Serbuk.** Surabaya: ITS
- Gaidarov, V.A. 1988. "Effect of Zinc Stearate on the Properties of Sintered Product". **Plenum Publishing Corporation**
- Habashi, Fathi. 1997. **Hand book of Extractive Metallurgy.** New York: Wiley Company
- Helaly, F.M., dkk. 2010 "Effect of synthesized zinc stearate on the properties of natural rubber vulcanizates in the absence and presence of some fillers". **Materials and Design**
- _____. 2004. **HÖGANÄS Handbook for Warm Compaction.** HÖGANÄS: U.S.A
- Ibrahim, A, dkk. 2008. An Experimental Investigation on the W-Cu Composites. Helwan. University
- Jhony, Paiman., 2014. **Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering terhadap Ikatan Antar Muka pada Komposit Matrik Logam Cu-10%wt Sn dengan Metode Metalurgi Serbuk.** Surabaya: ITS
- Jauhari, Mohan. 1970. "Bullet Ricochet From Metal Plates:

- Joys, J. 2009. **Lead Free Frangible Bullets**. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,225,718 B2
- Komenda, J., 2013. **Frangible Bullets: Wounding Capability and Clinical Aspects of Their Use**. Rusia: Pòvodní Práce
- Kalpakjian, Serope. **Manufacturing Process for Engineering Material**. Singapore: Addison-Wesley Publishing Company
- Kruachatturat. 2009. **Sintering Cu-Sn Material For Frangible Bullets**. *The 3rd Thailand metallurgical conference*. Bangkok, Thailand.
- St-Laurent, S. 2000. **Study of Compaction and Ejection of Powder Mixes Processed by Warm Compaction**. PM2TEC International Conference, U.S.A.
- Mikko, Don and Collins John M. 2000. **U.S. Military Green Bullet**. <URL: <http://www.firearmsid.com/FeatureArticles/GreenBullets/GreenBullets.htm>>
- Mikko, Don., Michael Kelley dan Jerry Miller. 2008. Frangible Bullets, Dynamic Research Technologies. **AFTE Journal**-- Volume 40 Number 1—Winter 2008\
- Metrima, Khoiril. 2015. **Pengaruh Temperatur Sintering Metode Metalurgi Serbuk Terhadap Frangibility dan Performa Balistik Peluru Frangible Komposit Cu-10%wtSn**. Surabaya: ITS
- Ngai, Tungwai. 2005. "Warm Compaction Powder Metallurgy of Cu". **Advanced Metallic Materials Processing**
- Nadkarni, Anil V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. Amerika Serikat Nomor Paten: US 6,536,352 B1
- Rydlo, M. 2010. "Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor". **Advances in Military Technology** Vol.5, No. 2
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS press.

- _____.1992. **ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International
- _____.1992. **ASM Metal Handbook Volume 3 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International
- _____.1998. **ASM Metal Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications**.Ohio: ASM International
- Tashkinov,Mikhail.2015. "Micro-scale modeling of phase-level elastic fields of SiC reinforced metal matrix multiphase composites using statistical approach".**Computational Materials Science**
- Takasih,Kawano,dkk.2011. "Analysis of Dewaxing Behavior of Iron Powder Compacts Based on a Direct Observation of Decomposing Lubricant During Sintering in a Furnace". **JFE Technical Report**
- Gaidarov,V.A.1988. "Effect of Zinc Stearate on the Properties of Sintered Product".**Plenum Publishing Corporation**

BIODATA PENULIS



Arief handi putra, lahir pada tanggal 17 september tahun 1993 bertempat di kota Surabaya. Pertama kali menempuh pendidikan di Taman kanak-kanak muhammadiyah nginden pada tahun 1998 dan selesai menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak pada tahun 2000. Setelah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih tinggi yaitu Sekolah

Dasar. Sekolah Dasar Negeri Baratajaya Surabaya adalah tempat penulis melanjutkan jenjang Sekolah Dasar yang ditempuh mulai tahun 2000 dan diselesaikan pada tahun 2006. Pada tahun 2006 penulis melanjutkan kembali ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 12 Surabaya yang ditempuh dari tahun 2006 hingga pada tahun 2009. Pada tahun 2009 penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan ke tahap Sekolah Menengah Atas dibanding meneruskan ke jenjang Sekolah Menengah Kejuruan. Penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Muhammadiyah 2 Surabaya. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Menengah Atas Muhammadiyah 2 Surabaya selama tahun 2006 hingga akhirnya selesai pada tahun 2009. Penulis melanjutkan ke jenjang Perguruan Tinggi pada tahun 2009 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga saat ini mengambil jurusan Teknik Material dan Metalurgi